



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE RECICLADO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor: Augusto Fuentes Majano

Tutor: David Mauricio Alba Lucero

Leganés, julio de 2010



Título: Análisis Estratégico de reciclado de baterías para vehículos eléctricos.

Autor: Augusto Fuentes Majano

Director: Juan Carlos García Prada

EL TRIBUNAL

Presidente: Cristina Castejón Sisamón

Vocal: Ramón Barber Castaño

Secretario: José Germán Pérez Alonso

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 26 de Julio de 2010 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Juan Carlos y a David Mauricio su sincero apoyo porque su colaboración en este proyecto ha sido fundamental.

Me gustaría agradecer a mis padres todo el esfuerzo que han puesto y que ponen día a día para darme todas las oportunidades posibles, por ser un ejemplo de trabajo, por estar ahí siempre que les he necesitado y por ser el mejor espejo en el que nadie se podría mirar. Gracias a mi “pequeña” familia, a mis hermanas, que gracias a su apoyo y a sus pequeñas “tonterías” todo se hace mucho más fácil. A Rosi, por levantarse todos los días antes de que cante el gallo; a Irene, por sus ganas de trabajar y de emprender y a María, que siempre tiene un enorme abrazo esperando cuando llegas a casa.

Gracias a Silvia, por cada rato, por ser un auténtico pilar para mí durante estos años, por su enorme generosidad y en definitiva por “Todo”. Gracias a mis amigos, a José Pedro, a Virginia, a Pablo, a Maher, a Adrián y como no al resto de compañeros y amigos de Universidad, Sergio, Miguel, Antonio, Alejandro, Eva, Rubén, etc.... y que me perdonen si me dejo a alguno porque gracias a todos vosotros soy lo que soy ahora mismo y he crecido como persona.

A todos os correspondería una pequeña parte de este proyecto, porque sin vosotros nada habría sido posible.

Gracias.

Resumen

El presente proyecto surge como respuesta a los interrogantes sobre la idoneidad y la capacidad de la industria para acoger el desarrollo del vehículo eléctrico como alternativa válida al automóvil convencional.

El conjunto del vehículo eléctrico trae consigo una serie de innovaciones tecnológicas en sus componentes, siendo uno de ellos la batería. Este elemento está considerado el componente crítico para el desarrollo del vehículo eléctrico y es el eje vertebral de este informe.

Dentro de esta cuestión, el análisis se centra en la caracterización de las etapas industriales ligadas al ciclo de vida de la batería y en las alternativas de reciclado al final de la vida útil de la misma. Con la estructura realizada, se consigue tanto la caracterización de la industria como de las alternativas de reciclaje, concluyendo el análisis y comparación de las alternativas en base a las tendencias de la industria asociada.



Abstract

This project comes as an answer to the questions about adequacy and capability of the industry to accommodate the development of electric vehicles as a valid alternative to conventional cars.

The entire electric vehicle entails a number of technological innovations into its components, one of them; the battery is considered the critical component and the backbone of this report.

Within this question, the analysis focuses on the characterization of industrial phases linked to the life cycle of the battery and recycling alternatives at the end of its cycle. With the structure in this work, you get both the characterization of the industry and the recycling alternatives, concluding analysis and comparison of alternatives based on associated industry trends.



Índice

Capítulo 1 Motivaciones	7
1.1 Combustibles fósiles	7
1.2 La cuestión medioambiental	8
1.3 Importaciones.....	8
1.4 El peso del sector transporte	9
1.5 Dinamización industrial	10
1.5.1 Infraestructura de carga	11
1.5.2 Generación y distribución de la energía	12
1.5.3 Fabricación de vehículos	13
1.5.4 Comunicación y sensibilización.....	14
1.5.5 Transversales	14
1.6 Eficiencia energética de la tecnología.....	15
1.7 El plan Movele	16
Capítulo 2 Objetivos y Estructura del Análisis.....	17
2.1 Objetivos	17
2.2 Estructura del Análisis	18
Capítulo 3 Introducción	20
3.1 Componentes principales del vehículo eléctrico.....	20
3.1.1 Componentes principales del vehículo 100% eléctrico.....	21
3.1.2 Componentes principales del vehículo híbrido	21
3.2 El elemento crítico, la batería	24
3.3 Fundamentos de la Batería.....	25
3.4 Agrupaciones de celdas.....	26
3.5 Tipos de baterías para vehículos eléctricos.....	27
3.5.1 Batería de níquel e hidruro metálico	27
3.5.2 Batería de iones de litio	28
Capítulo 4 Análisis de los Inputs críticos: metales	30
4.1 Situación actual	30
4.1.1 Los metales industriales	31
4.1.2 Aluminio.....	32
4.1.3 Cobalto	33

4.1.4 Cobre	34
4.1.5 Níquel	34
4.2 El Litio.....	34
4.2.1 Estructura de la industria del Litio	35
4.2.2 Producción actual de Litio.....	36
4.2.3 El Litio como posible cuello de Botella	50
Capítulo 5 Análisis de Mercado	60
5.1 Caracterización del mercado.....	60
5.1.1 Evolución del mercado	61
5.1.2 Situación del mercado en EEUU	62
5.1.3 Alianzas estratégicas	64
5.2 Crecimiento y desarrollo del mercado	65
5.3 Análisis de las 5 fuerzas de Porter en la Industria de baterías para vehículos eléctricos	67
5.3.1 Poder de los Proveedores	68
5.3.2 Poder de los compradores	70
5.3.3 Barreras de Entrada	71
5.3.4 Amenaza de productos sustitutivos	73
5.3.5 Presión por competir	74
5.4 Estado del Arte.....	75
5.4.1 Objetivos USABC	75
5.4.2 Desarrollo tecnológico	78
5.4.3 Tendencias de la Industria.....	79
5.4.4 Ultra condensadores ¿Sustitutivos o complementarios?	82
5.5 Mercado Europeo.....	83
Capítulo 6 Fin de Ciclo de Vida	85
6.1 Contexto legislativo	85
6.1.1 Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores.....	86
6.1.2 Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, con las modificaciones previstas por la Directiva 2008/33/CE	89
6.2 Análisis y desarrollo del contexto legislativo	90
6.2.1 Resumen Objetivos de Reciclaje	91
6.3 Alternativas estratégicas	91

6.3.1 Proceso Piro metalúrgico	92
6.3.2 Proceso Hidro metalúrgico	97
6.3.3 Las Alternativas Cara a cara.....	102
Capítulo 7 Conclusiones.....	107
7.1 Inputs/Suministro.....	107
7.2 Mercado	111
7.3 Fin de Ciclo de Vida	112
Anexos.....	119
Anexo A. Venta Híbridos Mercado EE.UU Junio 2010.....	120
Anexo B. Objetivos USABC	122
Anexo C. Previsión Deutsche Bank.....	124
Anexo D. Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores	126
Anexo E. Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, con las modificaciones previstas por la Directiva 2008/33/CE	141
Anexo F. Diagrama de Flujo proceso Piro Metalúrgico	155
Anexo G. Diagrama de Flujo proceso Hidro Metalúrgico.....	156
Anexo F. Método AHP	157

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Consumo energético (en ktep) por sectores en España.</i>	9
<i>Figura 2. Distribución del consumo por modos de transporte.</i>	10
<i>Figura 3. Oportunidades de negocio asociadas al vehículo eléctrico.</i>	11
<i>Figura 4. Punto de Carga.</i>	12
<i>Figura 5. Eficiencia combinada del vehículo convencional.</i>	15
<i>Figura 6. Eficiencia combinada del vehículo eléctrico.</i>	16
<i>Figura 7. Flujo de la estructura del análisis.</i>	19
<i>Figura 8. Componentes principales de un vehículo eléctrico.</i>	21
<i>Figura 9. Motor híbrido de Toyota.</i>	22
<i>Figura 10. Componentes de vehículo híbrido.</i>	23
<i>Figura 11. Esquema de componentes del sistema de transmisión.</i>	23
<i>Figura 12. Esquema 3D de Tesla.</i>	25
<i>Figura 13. Esquema de carga y descarga.</i>	26
<i>Figura 14. Disposiciones serie/paralelo, paralelo/serie y matriz.</i>	27
<i>Figura 15. Ciclo de mercado tradicional de metales.</i>	32
<i>Figura 16. Evolución del precio del Aluminio (US\$/tonelada).</i>	33
<i>Figura 17. Cuota de mercado según origen de la producción mundial de Litio</i>	35
<i>Figura 18. Estructura de la Industria del Litio</i>	36
<i>Figura 19. Disposición del Triángulo del Litio</i>	37
<i>Figura 20. Reservas de Litio en el Salar de Atacama</i>	38
<i>Figura 21. Sección de la estructura geológica del Salar de Atacama</i>	39
<i>Figura 22. Salar de Atacama, Concentración de litio en ppm.</i>	40
<i>Figura 23. Salar de Uyuni, líneas de igual concentración de Litio</i>	44
<i>Figura 24. Estructura geológica del Salar de Uyuni vs Salar de Atacama</i>	45
<i>Figura 25. Fotografía de flamencos en el Salar de Uyuni.</i>	47
<i>Figura 26. Demanda agregada de Litio a largo plazo.</i>	52
<i>Figura 27. Gráfica con detalle de la importancia de demanda de baterías.</i>	52
<i>Figura 28. Gráfica detalle origen de suministro a largo plazo.</i>	55
<i>Figura 29. Demanda total vs Suministro total.</i>	56
<i>Figura 30. Demanda LQ vs Suministro plantas actuales más Suministro proyectos.</i>	57
<i>Figura 31. Demanda LQ vs Suministro plantas actuales más Suministro Rincón.</i>	58
<i>Figura 32. Escenario más probable.</i>	59
<i>Figura 33. Reservas de Litio en Mega Toneladas.</i>	59
<i>Figura 34. Top 5 Mercados (por países) de vehículos híbridos.</i>	61
<i>Figura 35. Evolución de la actitud y ventas de un nuevo producto.</i>	61
<i>Figura 36. Evolución del mercado de vehículos híbridos en Estados Unidos.</i>	62
<i>Figura 37. Cuota de Mercado de cada fabricante.</i>	63
<i>Figura 38. Ventas por modelos vehículos híbridos.</i>	64
<i>Figura 39. Joint Ventures Estratégicas.</i>	65
<i>Figura 40. Curva de experiencia NiMH & Li-ion.</i>	66
<i>Figura 41. Cost Breakdown de battery pack.</i>	67

<i>Figura 42. Fuerzas de Porter.</i>	68
<i>Figura 43. Poder de los Proveedores.</i>	69
<i>Figura 44. Poder de los Compradores.</i>	71
<i>Figura 45. Barreras a la entrada.</i>	72
<i>Figura 46. Amenaza de sustitutivos.</i>	73
<i>Figura 47. Presión Competitiva.</i>	75
<i>Figura 48. Estado de carga vs distancia recorrida.</i>	78
<i>Figura 49. Tecnologías y objetivos USABC.</i>	79
<i>Figura 50. Energía Específica vs Potencia Específica.</i>	83
<i>Figura 51. Evolución de la Demanda en Europa.</i>	83
<i>Figura 52. Evolución de la cuota de mercado de las baterías de NiMH y Li-Ion.</i>	84
<i>Figura 53. Esquema de Horno y limpieza de gases.</i>	97
<i>Figura 54. Las alternativas cara a cara.</i>	102
<i>Figura 55. Supuesto más desfavorable</i>	110

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Prius vs Plug-in Prius</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Costes de producción del carbonato de Litio.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 3. Cuota de la demanda en función del tipo de batería.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 4. Evolución de las alternativas de suministro</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 5. Partnership Fabricante de automóviles/fabricante de baterías.</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 6. Resumen Objetivos de Reciclaje.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 7. Escala numérica de Saaty</i>	<i>104</i>

Capítulo 1

Motivaciones

El presente análisis surge a fin de dar respuesta a una serie de interrogantes que se plantean en la sociedad actual a causa del probable auge de la industria del vehículo eléctrico en un futuro cercano/a corto plazo.

El creciente desarrollo del vehículo eléctrico como alternativa factible al automóvil convencional con motor de combustión interna, está motivado por un conjunto de cuestiones socioeconómicas. Éstas, que serán objeto de estudio en el presente capítulo, fundamentan la creencia de la viabilidad del desarrollo de automóviles eléctricos capaces de competir en el mercado con los actuales.

1.1 Combustibles fósiles

La principal razón que se esconde tras el desarrollo cada vez mayor de los vehículos eléctricos es la escasez de combustibles fósiles (y el cada vez más elevado precio de mercado que éstos alcanzan como consecuencia de dicha escasez), que hace que sea necesario encontrar soluciones que permitan la utilización de fuentes alternativas de energía.

El sector transportes se configura como uno de los más influyentes en el consumo energético mundial, por lo que se hace necesaria la búsqueda de alternativas eficientes al tradicional motor de combustión interna.

El incremento en la demanda de petróleo, especialmente importante en estos los últimos años, está motivado en mayor medida por el elevado desarrollo de economías emergentes. Concretamente, ha cobrado importancia el consumo del conglomerado de economías emergentes definido como BRIC (que engloba a los Estados de Brasil, Rusia, India y China; cuyas economías han crecido de forma especialmente relevante en los últimos años), que parece que contribuirán aún más al alza en el consumo de combustibles fósiles [1].

1.2 La cuestión medioambiental

La creciente preocupación por la cuestión medioambiental lleva a que, al margen de las exigencias marcadas por el protocolo de Kioto [2], los usuarios potenciales de automóviles hayan adquirido una “conciencia verde” mucho más determinante en sus decisiones de compra, por lo que, la capacidad de desarrollar vehículos con emisiones de CO₂ cada vez más bajas se configura como un requisito más y de especial importancia a la hora de competir en el mercado del automóvil. Ante esta situación, el automóvil eléctrico es una alternativa socialmente reconocida como tecnología “limpia” y con posibilidades de disminución del consumo de CO₂ por kilómetro a través de la mejora de las eficiencias en el sistema eléctrico y de las sinergias en la producción de una mayor cantidad de energía eléctrica.

1.3 Importaciones

A nivel nacional, España se caracteriza por un gran déficit de exportaciones a nivel energético. A lo largo de la última década España se ha centrado en el desarrollo del conocido como “Plan de energías renovables”, que ha propiciado el desarrollo de energías como la fotovoltaica, el uso de la biomasa y, en mayor medida, la energía eólica. Estas posibilidades energéticas actualmente no son aprovechables en el ámbito del transporte por carretera, por lo que el vehículo eléctrico se configura como la herramienta necesaria para este fin. El vehículo eléctrico servirá por tanto como enlace entre las energías renovables y el sector de transporte por carretera, ampliando el ámbito de aplicación de este tipo de energías, de origen nacional, ayudando a equilibrar la descompensada balanza de pagos española.

El carácter estratégico del sector transportes, que se traduce en la necesidad de conservar la movilidad por parte de los ciudadanos, esto es, su capacidad para trasladarse una distancia determinada, es otro de los pilares que sustentan la necesidad del desarrollo del vehículo eléctrico. Este tipo de automóviles liberaría a España de la posibilidad de quedar completamente inmovilizada ante un corte del suministro exterior

de combustibles fósiles (en la medida de lo posible, ya que la producción eléctrica se basa en gran medida sobre centrales térmicas).

1.4 El peso del sector transporte

En 2008 el sector de transporte fue responsable del 38% del consumo de energía final en España. El transporte por carretera sigue siendo enormemente dependiente de los productos petrolíferos (en un 98%), y, además, representa más de la cuarta parte de las emisiones totales de CO₂ en España -el 25,4%-, correspondiendo al transporte por carretera del orden del 80% del consumo energético del sector y del 90% de sus emisiones de CO₂ [3]. En la Figura 1 se aprecia la evolución de la distribución del consumo de energía en España y la magnitud del peso del consumo de energía en el sector de transporte.

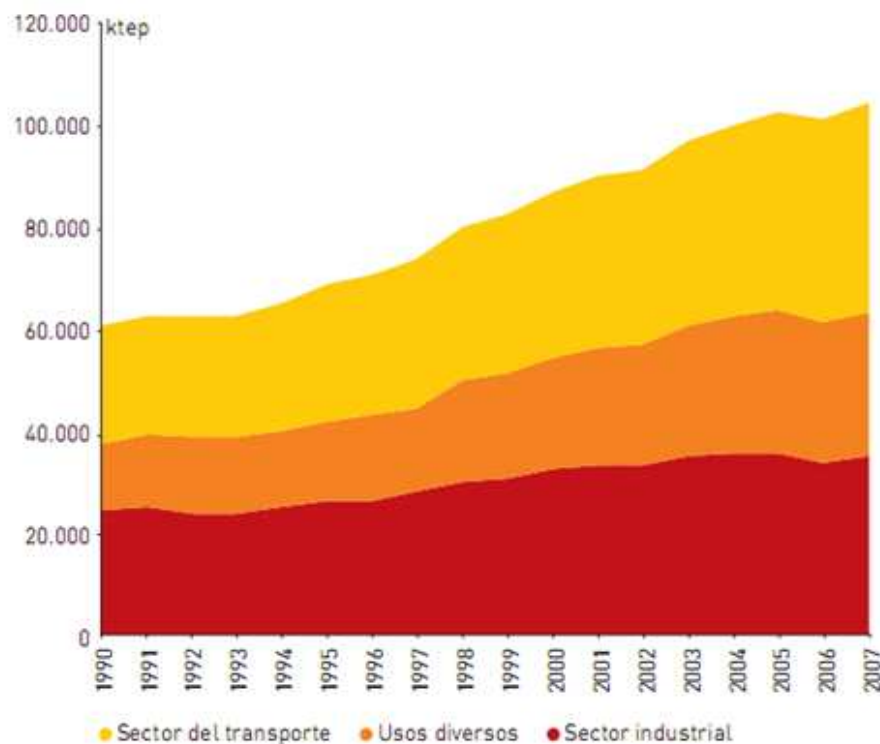


Figura 1. Consumo energético (en ktep¹) por sectores en España.
(www.sostenibilidad-es.org/.../22CONSUMODEENERGIAFINALPORSECTORES.pdf, Accedido en
Abril de 2010)

Como se mencionó anteriormente, el transporte por carretera representa casi el 80% del gasto energético del sector del transporte en España (como se aprecia en la Figura 2), por lo que la posibilidad de desarrollo de un nuevo vehículo para transporte por carretera que permita optimizar el consumo energético, como es el vehículo eléctrico, es un aspecto clave para el futuro de la competitividad de la industria española. El vehículo eléctrico presenta la ventaja de poder aprovechar las energías renovables en el sector

¹ tep=tonelada equivalente de petróleo

transporte y la capacidad de armonizar la oferta y la demanda de electricidad en nuestro país entre las horas punta y las horas valle como se mostrará a continuación.

Consumo Final por Modos de Transporte

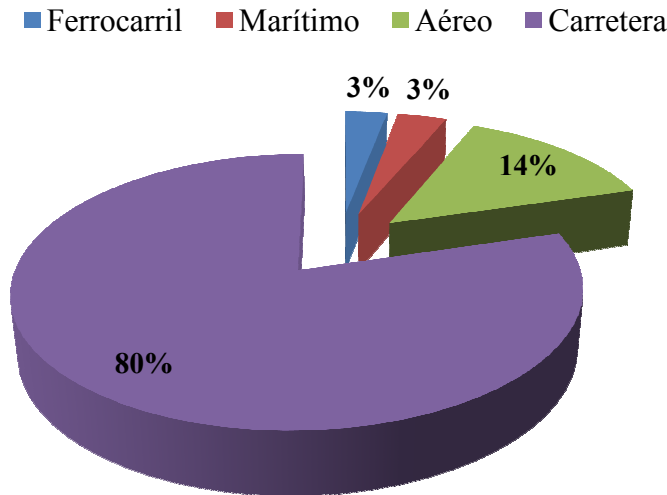


Figura 2. Distribución del consumo por modos de transporte.
(www.sostenibilidad-es.org/.../22CONSUMODEENERGIAFINALPORSECTORES.pdf, Accedido en Abril de 2010)

1.5 Dinamización industrial

Una motivación fundamental para el desarrollo del vehículo eléctrico es la capacidad de aportar dinamismo a la industria española que tiene el desarrollo de un vehículo de estas características, pues favorecerá el desarrollo de productos de carácter tecnológico, que apoye el crecimiento de sectores tan diversos como el del automóvil, el energético y las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación). Esta dinamización industrial vendrá determinada por las oportunidades de negocio que surgen como consecuencia de la aparición en la escena industrial nacional del vehículo eléctrico. Como se puede observar en la Figura 3, aparecerán oportunidades de negocio en sectores muy diversos que se analizan a continuación.



*Figura 3. Oportunidades de negocio asociadas al vehículo eléctrico.
(www.navarrainnova.com/.../oportunidades-coche-electrico-produccion-y-uso.pdf, Accedido en Julio 2010)*

1.5.1 Infraestructura de carga

1.5.1.1 Puntos de Carga

Las oportunidades de negocio en lo relativo a los puntos de carga van desde la propia fabricación de los puntos y servicios de instalación, a los servicios combinados de instalación y carga durante la vida operativa del punto de carga. En la Figura 4 se aprecia el aspecto de los puntos de carga, que tratan de emular los surtidores de combustible de los motores de combustión interna, para facilitar la adaptación del usuario.



Figura 4. Punto de Carga.

(<http://www.darbajacoches.com/blog/wp-content/uploads/2009/11/coche-electrico1.jpg>, Accedido en Julio 2010)

1.5.1.2 Gestión de la infraestructura

Asimismo, aparecen oportunidades de negocio en lo relativo a la gestión de la infraestructura de los propios puntos de carga y la red de puntos. Estos nichos de mercado abarcarían ámbitos tan variados como el diseño de la imagen corporativa, la consultoría especializada asociada, posibles servicios de renting o alquiler de vehículos con punto de recarga asociado, software integrado para la gestión de la red de puntos de carga y el desarrollo de sistemas de cobro eficaces para este tipo de infraestructuras.

1.5.1.3 Puntos de Intercambio de Baterías

Existe igualmente la posibilidad de desarrollo de un sistema alternativo a los puntos de carga: los puntos de intercambio de baterías. Estos sistemas de intercambio tendrían como ventaja una mayor rapidez de repostaje y como principales desventajas los aspectos logísticos, escasamente desarrollados. Es precisamente en esta área donde aparecerían las principales oportunidades de negocio tanto en lo que respecta a los servicios logísticos como en el desarrollo de sistemas de intercambio de baterías eficientes [7].

1.5.2 Generación y distribución de la energía

Las oportunidades de negocio en la industria de generación y distribución de la energía asociada al lanzamiento del vehículo eléctrico son principalmente las

relacionadas a las energías renovables y al desarrollo de un sistema inteligente de gestión de la oferta y la demanda de electricidad “Smart Grid”.

1.5.2.1 Energías Renovables

Las oportunidades de negocio asociadas al sector de las energías renovables están motivadas en primer lugar por un posible incremento de la generación, al reequilibrar la producción de electricidad entre horas valle y horas punta gracias a las posibilidades del vehículo eléctrico; y en segundo lugar por las posibilidades de negocio asociadas a la investigación y el desarrollo de nuevos sistemas y tecnología. De esta forma, se hace patente no sólo una oportunidad de negocio, si no la necesidad de un esfuerzo significativo en I+D de cara a explorar nuevos sistemas de producción de electricidad y mejorar la eficiencia de los existentes.

1.5.2.2 Smart Grid

El sistema Smart Grid persigue una gestión más eficiente de la electricidad. En este ámbito existen posibilidades de negocio para acoplar este sistema a la gestión de la carga del vehículo eléctrico, como son: el desarrollo del software, el desarrollo de los dispositivos para la integración, la descentralización de la generación (apoyando por tanto instalaciones de cogeneración, abriendo la puerta a nuevos ingresos en compañías que anteriormente no los contemplasen) y el desarrollo tecnológico que permita utilizar las baterías como almacén de electricidad.

1.5.3 Fabricación de vehículos

Una oportunidad de negocio inmediata ante el futurible auge del vehículo eléctrico es la propia fabricación de estos vehículos. Las oportunidades de negocio asociadas a la fabricación de los vehículos eléctricos se pueden diferenciar en dos grandes bloques: oportunidades de negocio asociadas a las baterías y oportunidades de negocio asociadas a componentes de automoción.

1.5.3.1 Baterías

La investigación de materiales alternativos que permitan el incremento de la eficiencia y la autonomía de las baterías es tanto una oportunidad de negocio como una

responsabilidad medioambiental de cara a mantener la imagen “verde” del vehículo eléctrico.

La minería y la investigación de las posibilidades de extracción de Litio a nivel nacional y europeo son áreas con posibilidades de negocio, tal y como se procederá a analizar posteriormente.

Por último, el reciclaje, objeto fundamental de este proyecto, se presenta con un doble perfil tanto de responsabilidad socio-ambiental, como de oportunidad de negocio.

1.5.3.2 Componentes de automoción

El desarrollo y comercialización de motores, transmisiones y frenos regenerativos, que persigan la máxima eficiencia y eficacia se revelarán como grandes oportunidades de negocio, de cara a que el vehículo eléctrico aporte las mismas prestaciones de potencia, comodidad y sensaciones de conducción que su competidor el vehículo convencional con motor de combustión interna.

1.5.4 Comunicación y sensibilización

Surgirán igualmente oportunidades de negocio en aspectos como los servicios de información a usuarios y fabricantes y servicios de dinamización social (ligados a las políticas gubernamentales).

1.5.5 Transversales

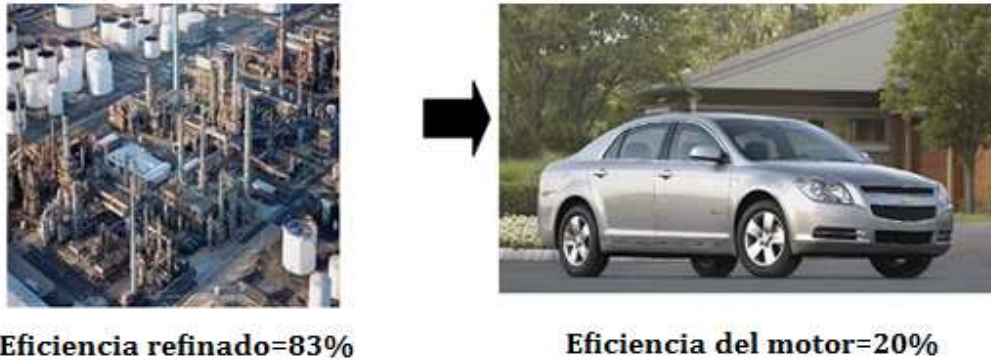
Las oportunidades de negocio transversales son las ligadas a la puesta en marcha de todos los servicios de apoyo para la comercialización, distribución y puesta en servicio del vehículo eléctrico. Estos servicios son la distribución (desarrollo de sistemas de distribución y comercialización, en definitiva, puntos de venta), seguros (la posibilidad de desarrollo de seguros específicos a este nuevo tipo de vehículo en el mercado), empresas de capital-riesgo (que apoyen el desarrollo de estos servicios transversales con grandes expectativas de crecimiento) y formación (el tejido industrial está actualmente formado y preparado para atender cuestiones sobre vehículos con motores gasolina y diesel, por lo que existe un déficit de conocimiento en lo relativo a los vehículos eléctricos, que habría que suplir).

1.6 Eficiencia energética de la tecnología

El motor eléctrico es energéticamente más eficiente que el motor de combustión interna (que se encuentra con el límite superior establecido por el segundo principio de la termodinámica), y es un aspecto fundamental en la eficiencia del vehículo eléctrico la eficiencia del mix de producción eléctrica nacional.

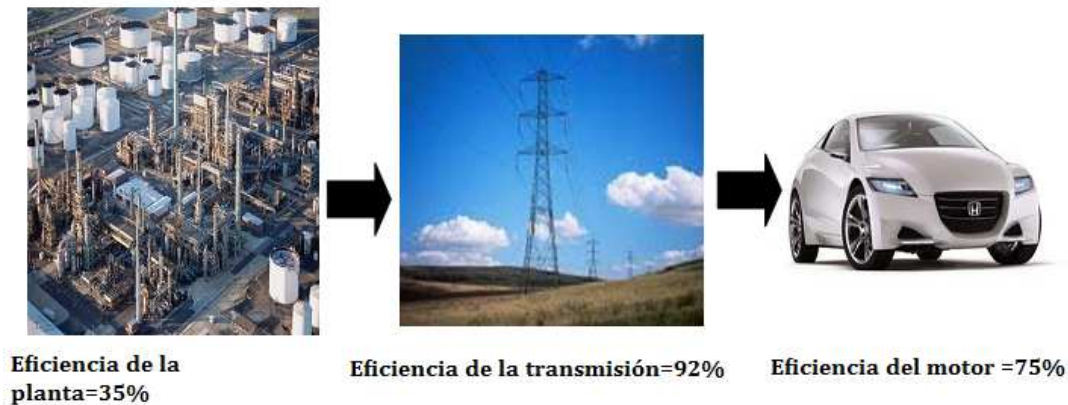
En la Figura 5 aparece representada la eficiencia combinada del vehículo convencional como producto de la eficiencia del refinado y la eficiencia del motor y en la Figura 6 se aprecia la eficiencia del vehículo eléctrico, la cual depende fuertemente del origen de la producción eléctrica, por lo que tiene un amplio margen de mejora asociado a la modificación y optimización de la producción energética.

Eficiencia combinada vehículo convencional=17%

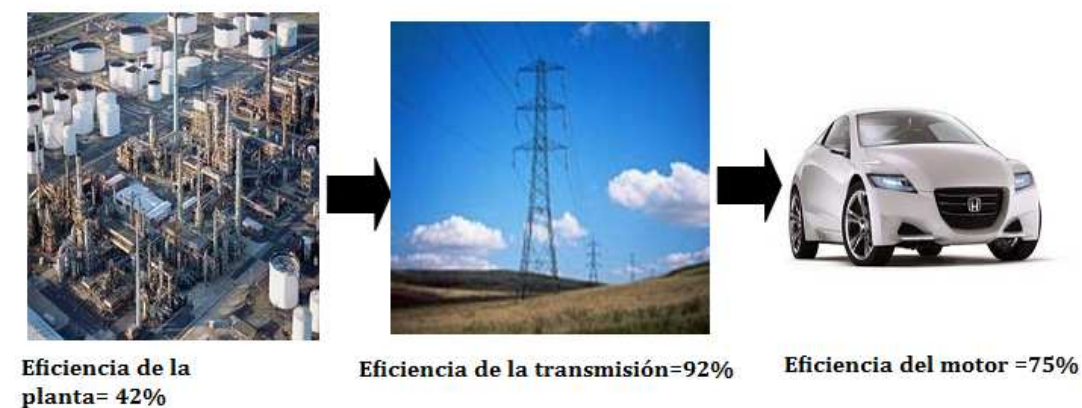


*Figura 5. Eficiencia combinada del vehículo convencional.
(Deutsche Bank: 'Electric Cars: Plugged In', página 18, 9 de Junio de 2008)*

**Eficiencia combinada con generación en central térmica de
carbón = 24%**



**Eficiencia combinada con generación en central de ciclo
combinado=29%**



*Figura 6. Eficiencia combinada del vehículo eléctrico.
(Deutsche Bank: 'Electric Cars: Plugged In', página 18, 9 de Junio de 2008)*

1.7 El plan Movele

A nivel nacional, sobre todas las iniciativas relacionadas con el vehículo eléctrico, destaca el proyecto Movele, un impulso gubernamental promocionado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo) que tiene como meta la introducción en un plazo de dos años (previsto para 2009 y 2010), dentro de entornos urbanos, de 2.000 vehículos eléctricos de distintas gamas a través de su uso por parte tanto de empresas como de particulares.

Otro objetivo del plan Movele es la instalación de 500 puntos de recarga para estos vehículos de cara a demostrar la viabilidad técnica y energética y servir de impulso para el desarrollo de una red más extensa.

Estas medidas fomentaran el uso del vehículo eléctrico y servirán de impulso para su implantación y utilización en algunas de las principales ciudades del país [8].

Capítulo 2

Objetivos y Estructura del Análisis

2.1 Objetivos

A continuación se enumeran y describen brevemente los principales objetivos del presente análisis:

a) Caracterizar el suministro de Litio a largo plazo

Como se especificará más adelante, las baterías de Litio serán la alternativa tecnológica predominante como dispositivo de almacenaje de energía en los vehículos eléctricos. Al ser el sector transporte un sector que típicamente ha padecido la dependencia de las exportaciones de los hidrocarburos y el elevado precio de éstos, es importante caracterizar el suministro para conocer la situación en el futuro.

b) Conocer la situación del mercado de baterías

Conocer la situación del mercado de baterías es relevante de cara a conocer las presiones del sector industrial y las posibles necesidades de reciclado en función de la demanda.

c) Describir el contexto legislativo de las baterías al final de su ciclo de vida

Caracterización breve sobre el contexto legislativo a nivel europeo que puede afectar a la necesidad de desarrollo de procesos de reciclado adaptados a las nuevas baterías para vehículos eléctricos.

d) Caracterizar las alternativas estratégicas de reciclado al final del ciclo de vida

Descripción y caracterización de procesos que se emplean en la actualidad para reciclar baterías de iones de litio o baterías de níquel e hidruro metálico.

e) Analizar las alternativas estratégicas de reciclado

Una vez caracterizadas las alternativas estratégicas para el reciclado de baterías, será necesario analizar de forma cualitativa las características y posibilidades de las mismas, orientando el análisis hacia la conclusión final sobre qué alternativa puede ser la más idónea a largo plazo.

f) Determinar la idoneidad de cada alternativa para el escenario futurible de suministro y mercado

Tras caracterizar y analizar las alternativas estratégicas, se podrá abordar el objetivo principal del presente trabajo, esto es, conocer la idoneidad de cada alternativa para el escenario futurible a partir de las conclusiones extraídas de los apartados anteriores.

2.2 Estructura del Análisis

El presente análisis se abordará de forma secuencial, de manera que finalmente se tenga una visión global de todas las etapas y partes de la industria de la batería para vehículos eléctricos. El fin último de este análisis es conocer las alternativas de reciclaje al final de la vida útil de estos dispositivos, pues es uno de los factores determinantes para recalcar la conveniencia de calificar al vehículo eléctrico como tecnología “limpia”. A pesar de que éste sea el objetivo principal del análisis, también resulta prioritario caracterizar el resto de la industria y procesos que envuelven a la batería para vehículos eléctricos por lo que la estructura del análisis será la siguiente: análisis de los inputs, análisis de mercado y análisis de alternativas de reciclaje al final del ciclo de vida.

En la Figura 7 aparece representado el carácter progresivo del análisis, de manera que al finalizar el mismo quede barrido todo el espectro industrial asociado a las baterías para vehículos eléctricos.

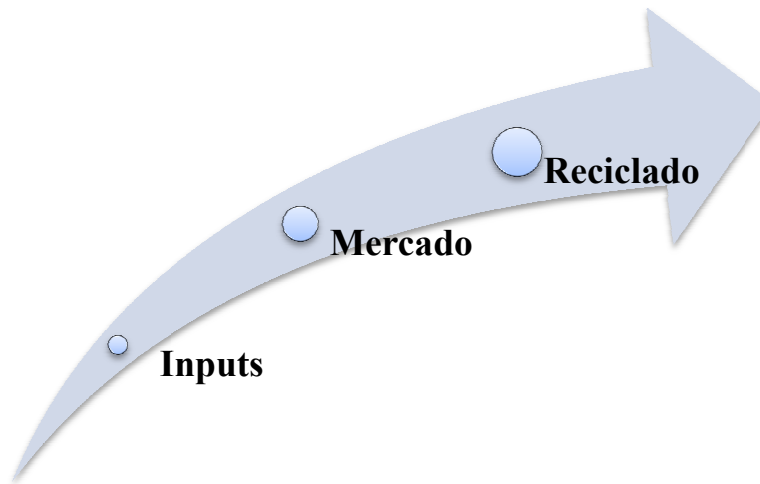


Figura 7. Flujo de la estructura del análisis.

Los apartados del análisis que se aprecian en la Figura 7 han sido escogidos por ser representativos del ciclo de vida del producto que es objeto de estudio: las baterías. Este enfoque del ciclo de vida no es casual, sino que ha sido elegido para conocer todo el proceso de aprovisionamiento, producción y fin de vida de las baterías para caracterizarlo y así responder el mayor número posible de los interrogantes que plantea la batería como medio de almacenamiento de energía.

El desglose de los apartados y la justificación de la elección de los mismos se muestran a continuación:

Inputs: tratándose de una industria esencialmente ligada al suministro y consumo eléctrico, los inputs necesarios en la fabricación del componente considerado crítico para el buen funcionamiento del vehículo eléctrico, la batería, son de obligado análisis. No tendría ningún sentido fomentar el desarrollo tecnológico de un nuevo sistema de propulsión para el transporte por carretera, justificándose en cuestiones energético-estratégicas y de balanza de pagos (Importaciones-Exportaciones), si finalmente la solución provocase desequilibrios similares.

Mercado: la caracterización del mercado actual es clave para conocer las posibilidades de desarrollo de la tecnología disponible y para conocer la necesidad e idoneidad de desarrollar sistemas de reciclado de baterías más eficientes.

Reciclado: este apartado se configura como objetivo principal del análisis, pues tras conocer la situación del mercado y las necesidades reales de reciclado, se compararán las alternativas disponibles mediante criterios técnico-económicos y se marcarán las líneas de mejora necesarias para que el reciclado aparezca como alternativa válida a fin de que el ciclo de vida de la batería adquiriera desde el inicio un carácter cíclico.

Capítulo 3

Introducción

Con el objetivo de profundizar y conocer el elemento cuyo análisis es el objetivo último de este proyecto, se describe a continuación el funcionamiento del vehículo eléctrico y el por qué de la importancia de las baterías.

3.1 Componentes principales del vehículo eléctrico

El principal desafío de este tipo de vehículos es el sistema eléctrico del mismo, pues el sistema mecánico, sólo por el menor número de partes móviles que el motor de combustión interna, necesariamente tendrá una eficiencia mayor.

El sistema mecánico del vehículo eléctrico tiene menor número de piezas móviles, fundamentalmente porque no tiene la necesidad de convertir el movimiento del motor en un movimiento circular, pues ya lo es. De modo que, a continuación se detallan los componentes principales del sistema eléctrico del vehículo.

3.1.1 Componentes principales del vehículo 100% eléctrico

El sistema de almacenamiento de energía eléctrica empleado en un vehículo eléctrico es la batería (existe la posibilidad de desarrollo de súper-condensadores, pero es aún una tecnología incipiente), y concretamente, en los vehículos completamente eléctricos la batería de iones de litio. Las baterías almacenan la electricidad en forma de corriente continua (DC, “Direct Current”) o corriente alterna (AC, “Alternating Current”). La mayoría de motores para este tipo de vehículos son máquinas eléctricas de corriente alterna, razón por la que, los vehículos eléctricos deben disponer de un inversor, que transforme la corriente continua en corriente alterna. Existen sistemas auxiliares asociados al sistema eléctrico motriz, como es la batería auxiliar de 12 V (con la misma función que la clásica batería de plomo y ácido sulfúrico que utilizan los motores de combustión interna), para la que es necesario un convertidor HVDC-LVDC (“High Voltage Direct Current”, Corriente continua de alta tensión, - “Low Voltage Direct Current”, Corriente continua de baja tensión). En la Figura 8, se pueden apreciar los componentes en su localización aproximada y el flujo de electricidad el vehículo eléctrico.

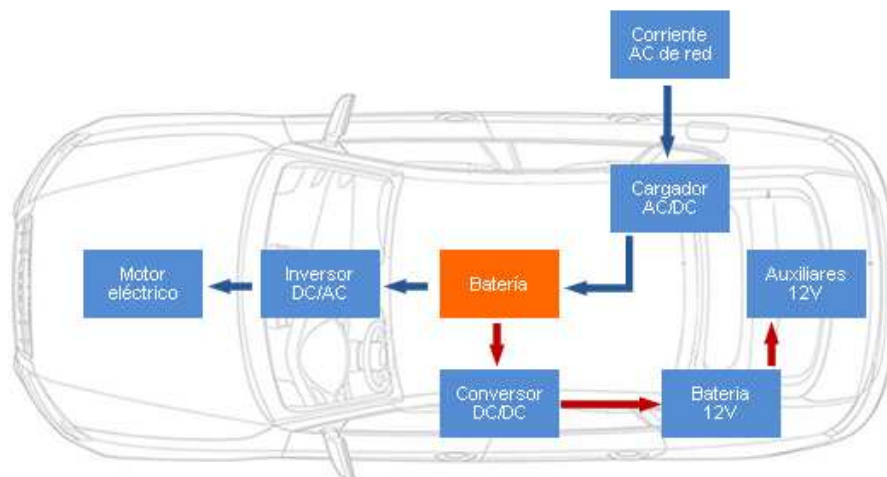


Figura 8. Componentes principales de un vehículo eléctrico.

(<http://www.eve.es/web/Eficiencia-Energetica/Transporte/El-coche-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx>, Accedido en Junio 2008)

3.1.2 Componentes principales del vehículo híbrido

El vehículo híbrido presenta la complejidad de combinar un motor de combustión interna y otro eléctrico. En este tipo de vehículos, el aspecto clave es la transmisión mecánica entre ambos motores, distinguiéndose la función del vehículo eléctrico en función de la generación a la que pertenezca el vehículo eléctrico.

La primera generación, utiliza el motor eléctrico como soporte de potencia al motor térmico y para circular a bajas velocidades, por lo que no dispone de un sistema eléctrico con transformador AC/DC como el descrito anteriormente ya que no es necesario, pues no se carga conectándolo a la red eléctrica. La batería se carga durante el funcionamiento del motor de combustión interna y las frenadas, siendo su papel fundamental el de un “buffer” de electricidad que no se llega a descargar por completo, sin completar ciclos de carga y descarga al 100%, de forma que se sobredimensiona la batería para evitar que ésta sea el elemento crítico. Habitualmente esas baterías suelen ser baterías de níquel e hidruro metálico (NiMH), y han sido diseñadas para una vida operativa de 7 a 10 años.

En la Figura 9 se aprecia la disposición de los motores de combustión interna (izquierda) y eléctrico (derecha) en un sistema híbrido de Toyota.

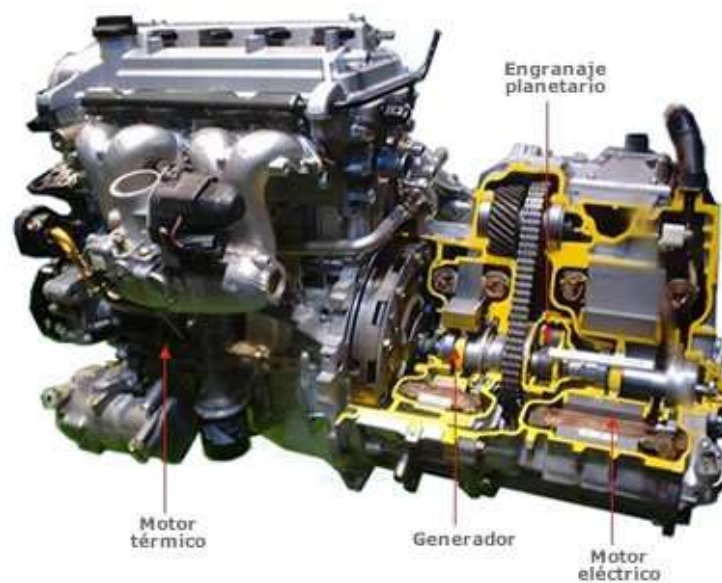


Figura 9. Motor híbrido de Toyota.
(<http://www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm>, Accedido en Julio 2008)

La firma mencionada anteriormente, Toyota, es considerada un referente en este tipo de vehículos, pues fue la primera en lanzar al mercado esta alternativa. En la Figura 10, aparece representada la disposición de los elementos críticos del vehículo híbrido (no enchufable²), siendo el elemento crítico del mismo la transmisión híbrida.

² El término enchufable hace referencia a la última generación de vehículos híbridos, capaz de recorrer cierta distancia utilizando únicamente el motor eléctrico.

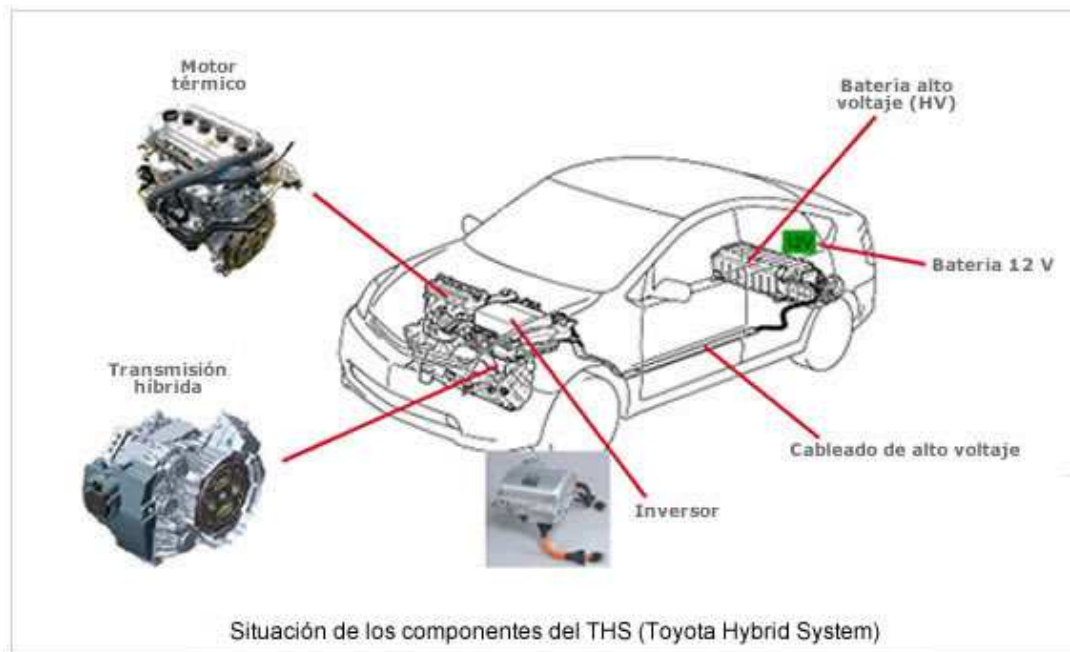


Figura 10. Componentes de vehículo híbrido.
(<http://www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm>, Accedido en Julio 2008)

En la Figura 11 aparece representado de forma gráfica el acoplamiento mecánico entre el motor eléctrico y el motor térmico, interfaz clave para el aprovechamiento del motor eléctrico como sistema de apoyo y para la carga de la batería.

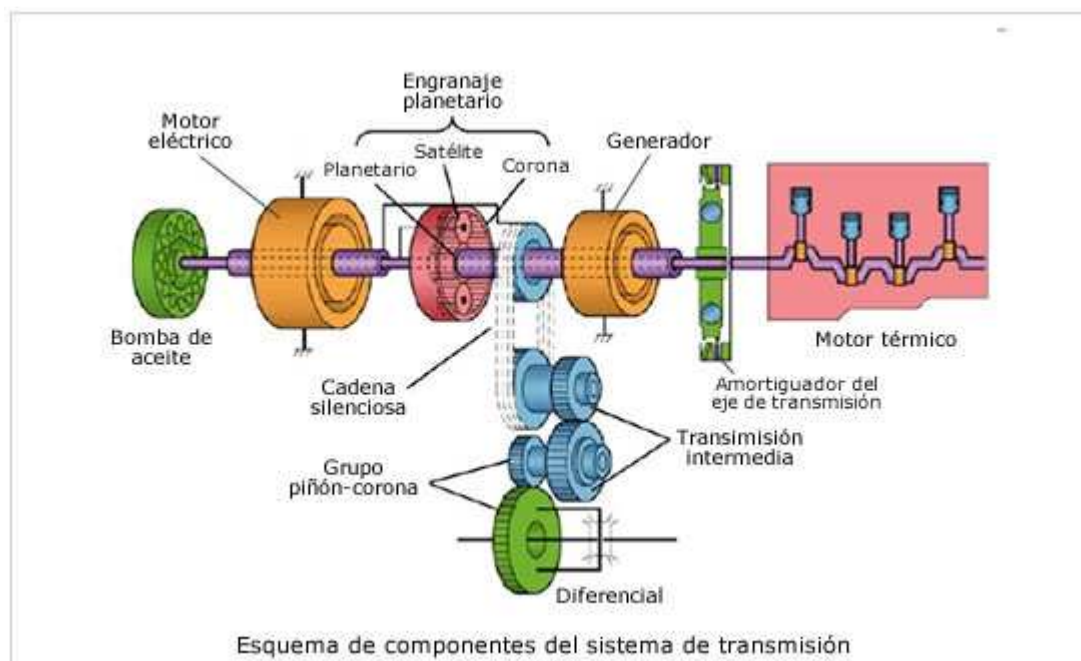


Figura 11. Esquema de componentes del sistema de transmisión.
(<http://www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm>, Accedido en Julio 2008)

La última generación de vehículos híbridos presenta la novedad de que pueden enchufarse a la corriente eléctrica y que además permiten que el motor eléctrico funcione de forma autónoma hasta el fin de la autonomía eléctrica del vehículo. La principal diferencia es el incremento de la capacidad de la batería, y por lo tanto, como

se verá más adelante, un aumento en el peso del vehículo. Por ejemplo, la diferencia de peso entre el Toyota Prius y el Plug-in Prius es de unos 100 kg (ver Tabla 1).

En la Tabla 1 se aprecian las diferencias entre ambos modelos en relación a la batería, y se puede extraer la tendencia del vehículo eléctrico. La electrificación completa tiene como consecuencia la utilización de baterías de iones de litio en vez de baterías de níquel e hidruro metálico, por su mayor densidad energética.

Tabla 1. Prius vs Plug-in Prius

Modelo	Capacidad de la Batería	Tipo de Batería	Peso vehículo
Prius	<i>1,3 kWh</i>	<i>NiMH</i>	<i>1400 kg</i>
Plug-in Prius	<i>5,2 kWh</i>	<i>Li-ion</i>	<i>1500 kg</i>

(<http://www.km77.com/00/toyota/proto/prius-phv/2010/bateria.asp>. Accedido en Junio 2010)

A pesar de ser mayor la densidad energética de la batería de iones de litio, de 360 Wh/litro, frente a los 300 Wh/litro de la batería de níquel e hidruro metálico utilizada en el modelo del Prius anterior, según el portal especializado en la prueba y análisis de automóviles www.km77.com: “*de los 5,2 kWh de capacidad que tiene la batería sólo se emplean 2,5 kWh. Esto es así para asegurar la vida de la batería (también ocurre con la batería del Prius normal). La batería está formada por tres paquetes, cada uno con 3 módulos de 32 pilas de 3,6 V y 5 Ah. Conectando en paralelo los tres paquetes se obtiene un suministro a 345,6 V y 15 Ah (5,2 kWh). El sistema de ventilación y control de la temperatura consta de 36 sensores en las baterías y 6 en los conductos*” [11].

3.2 El elemento crítico, la batería

La batería es el cuello de botella en el desarrollo del vehículo eléctrico, pues de ella depende que el vehículo eléctrico tenga unos ratios de fiabilidad semejantes a los vehículos convencionales y una autonomía comparable. El parámetro crítico en este aspecto es la densidad energética (que se mide en Wh/litro), pues determinará en mayor medida la autonomía del vehículo. El problema que se plantea para el desarrollo de vehículos 100% eléctricos de gran autonomía es el tamaño y el peso de este dispositivo.

Un buen ejemplo de esta limitación es el Tesla Roadster. En la Figura 12, la silueta color púrpura en 3D, representa la batería y según www.km77.com: “*El Roadster tiene una autonomía de 340 km -en un ciclo de consumo homologado en Europa para este tipo de coches-*” [12], razón por la que este dispositivo ocupa la mayor parte del volumen del vehículo. Ante este desafío, Tesla optó por una solución que a la postre ha resultado exitosa: desarrollar un vehículo exclusivo de altas prestaciones, por lo que diseñó el vehículo utilizando el “know-how” de Lotus en la fabricación de chasis ligeros, de forma que el elevado peso de la batería se compensa con la ligereza del chasis.

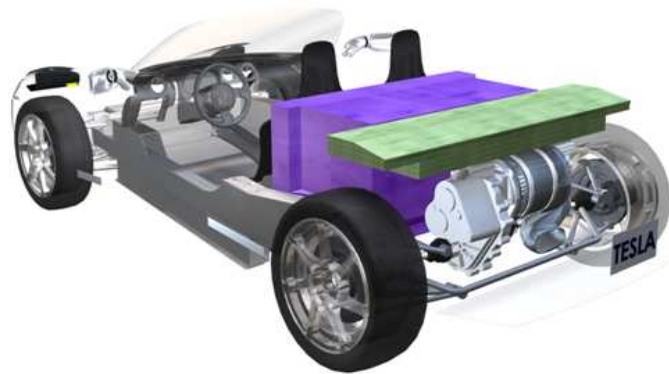


Figura 12. Esquema 3D de Tesla.
(http://www.km77.com/00/tesla/roadster/2010/carga_bateria.asp, Accedido en Junio 2010)¹³

3.3 Fundamentos de la Batería

Las operaciones fundamentales en el almacenamiento electroquímico en una batería son la carga y la descarga. Los elementos principales son el ánodo, el cátodo y el electrolito.

Carga: Los electrones van del cátodo al ánodo. Los iones de litio cargados positivamente se mueven desde el cátodo a través del separador por medio del electrolito hacia el ánodo.

Descarga: Los iones de litio cargados positivamente se mueven del ánodo a través del separador por medio del electrolito hacia el cátodo. Los electrones se mueven a través de la carga externa del ánodo al cátodo, resultando una corriente que provee de energía a la carga.

En la Figura 13 se observa las operaciones de carga y descarga y el tránsito, en este caso de iones de litio.

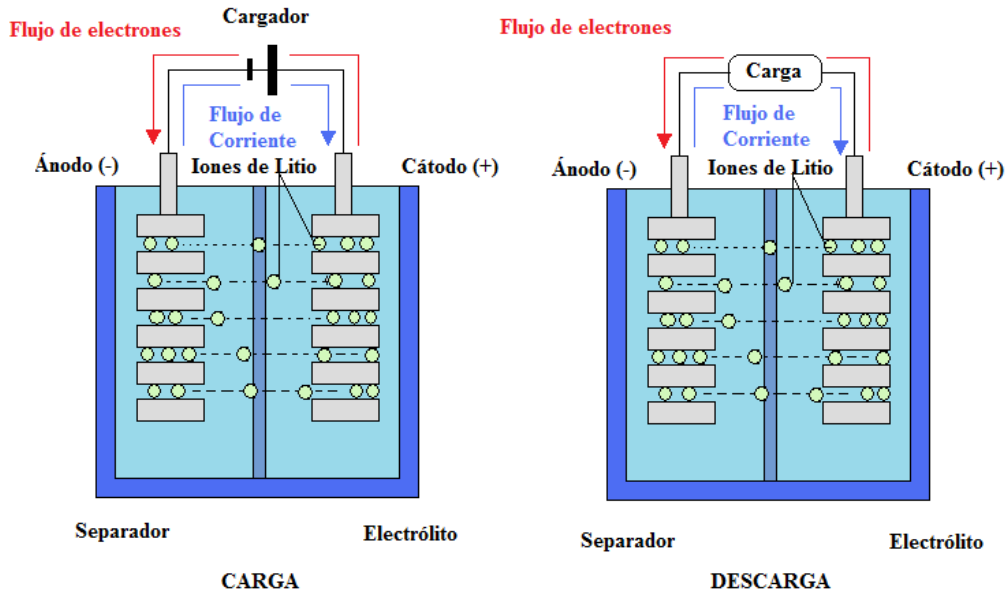


Figura 13. Esquema de carga y descarga.
(Anderson, D.: 'Status and trends in the HEV/PHEV/EV battery industry', Rocky Mountain Institute, Slide 6, 2008)

3.4 Agrupaciones de celdas

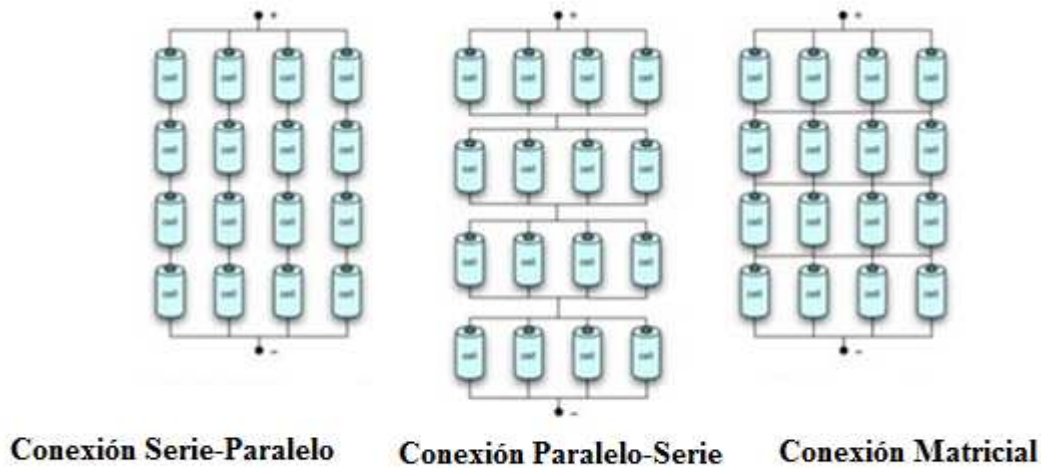
Las celdas son la unidad más pequeña que se puede formar mediante ánodos, cátodos y electrolitos, y se caracterizan por su voltaje e intensidad nominal.

De cara a conseguir las especificaciones necesarias para aplicaciones concretas de tensión y corriente, las celdas se agrupan y conectan formando módulos, capaces de entregar mayores voltajes y mayores intensidades.

Existen tres tipos fundamentales de conexión de las celdas: conexión en serie-paralelo, conexión en paralelo serie y conexión en forma matricial. Estos tres tipos de conexiones aparecen representados en la Figura 14.

Las conexiones en serie entre celdas proveen mayor voltaje y las conexiones paralelas hacen que sea posible entregar mayor corriente. La especificación de voltaje de los "battery packs"³ es determinada por las necesidades de diseño del sistema o dispositivo. La potencia y las especificaciones de energía del pack vienen definidas por la aceleración del vehículo y la autonomía deseada.

³"Battery pack": es la agrupación de celdas que entrega el voltaje y la corriente nominal específicos para una determinada aplicación.



*Figura 14. Disposiciones serie/paralelo, paralelo/serie y matriz.
(Anderson, D.: 'Status and trends in the HEV/PHEV/EV battery industry', Rocky Mountain Institute,
Slide 7, 2008)*

Los “battery packs” mencionados anteriormente están formados por módulos, electrónica y sistemas de control, que son de gran importancia para garantizar la seguridad y la viabilidad de operación de la batería.

Muchas de las especificaciones de la batería como densidad energética y densidad de potencia, son normalmente determinadas a nivel de la celda, pero es necesario tener presente que en términos del vehículo es más interesante determinar las características a nivel “battery pack”.

3.5 Tipos de baterías para vehículos eléctricos

La tipología de las baterías utilizadas es clave para el desarrollo del análisis, por lo que se analizarán dos tipos de químicas generales a continuación: la batería de níquel e hidruro metálico (NiMH), muy utilizada en vehículos híbridos de la primera generación; y la batería de iones de litio (Li-ion), que como se profundizará más adelante, parece ser la principal tendencia del mercado en el futuro.

3.5.1 Batería de níquel e hidruro metálico

Se puede decir que la batería de níquel e hidruro metálico es el presente de las baterías en aplicaciones asociadas a vehículos eléctricos. Estas baterías se caracterizan por ser muy fiables y tener expectativas de vida larga. El principal inconveniente que presentan es que son caras, debido al alto contenido en Níquel que presentan y que tienen un peso elevado. Para solventar algunos de estos problemas, las baterías de

NiMH aportan energía de forma puntual a fin de proporcionar energía que apoye a un sistema de combustión interna (en vehículos híbridos de la primera generación). Para garantizar la fiabilidad de estos dispositivos y que no se conviertan en el elemento crítico del vehículo híbrido, se diseñan para utilizar en ciclos de carga y descarga continuos, aproximadamente el 10% de su capacidad [15], dejando el resto de la capacidad como “buffer” para asegurar que la batería mantendrá unos niveles de rendimiento mínimos al final de su vida operativa (aproximadamente 10 años).

3.5.2 Batería de iones de litio

Si anteriormente decíamos que se puede afirmar que la batería de níquel e hidruro metálico es el presente de las baterías para vehículos eléctricos, se puede afirmar que las baterías de iones de litio son el futuro (y cada vez más, el presente).

De todos los metales disponibles para ser utilizados potencialmente en la fabricación de baterías, la industria ha considerado durante mucho tiempo que los sistemas químicos sobre la base del Litio han sido los más prometedores. No es tóxico (incluso se utiliza en medicamentos antidepresivos [16], y fue un componente original del 7-Up [17]), es el metal más ligero de la tabla periódica, tiene un alto contenido energético específico y posee propiedades electroquímicas favorables (los electrodos están protegidos contra la corrosión mediante una película denominada SEI, que protege pero todavía permite la transferencia de iones de litio).

3.5.2.1 Ventajas de la batería de iones de litio

Al compararlas con las baterías de níquel e hidruro metálico, las baterías de Li-ion tienen varias ventajas:

Almacenamiento de energía

Tienen entre 1,4 y 1,7 veces la densidad energética de las baterías de níquel e hidruro metálico. La energía disponible por unidad de volumen a niveles comparables de potencia es entre un 20 y un 80% mayor, y a pesar de esto los módulos son entre un 20 y un 30% más pequeños y entre un 30 y un 40% más finos. Esto implica baterías más pequeñas y finas, y un menor coste.

Utilización/Coste

Para algunas químicas ⁴la mayor parte de esta potencia puede ser utilizada, lo que implica menor coste ya que las baterías de iones de litio pueden usar celdas de menor tamaño.

⁴ (en referencia a las alternativas tecnológicas para baterías de iones de litio, apartado 5.4).

Eficiencia

Algunas químicas tienen mejores eficiencias de carga y descarga, que implica que no se calienten tanto, aspecto fundamental para incrementar la vida operativa del dispositivo y la seguridad de operación.

Costes de los inputs

Las baterías de iones de litio típicamente tienen menores costes de metal por kWh (son mayores los costes de otros componentes).

Estas características hacen que las baterías de iones de litio estén ganando una importante cuota de mercado en todos los dispositivos asociados a la electrónica de consumo. Es necesario apuntar que en este mercado se espera una vida de 2 a 3 años para la batería, y no operan típicamente en operaciones extremas, por lo que se debe profundizar en aumentar la vida operativa y las condiciones de seguridad en situaciones extremas (en un accidente por ejemplo).

Más adelante, en el apartado 5.4, se tratará el estado del arte del mercado de baterías, y se mencionarán las principales carencias y áreas de mejora para este tipo de baterías.

3.5.2.2 Seguridad

La seguridad es un aspecto clave en el desarrollo de un nuevo sistema, y más aún en un dispositivo asociado al transporte. Por esto, se están desarrollando varios mecanismos para conseguir alcanzar las máximas prestaciones posibles en materia de seguridad. Se está realizando a través de tres mecanismos [¹⁸]:

Química

Cambios en la formulación química de los electrodos los han hechos más estables, más duraderos y con capacidad de entregar más potencia.

Ingeniería a nivel de celda

Incluye la incorporación de separadores extremadamente estrechos pero a la par robustos (que prevén de corto circuitos), carcasas especiales para las celdas, y electrolitos diseñados para que puedan desconectar la batería bajo condiciones específicas.

Control a nivel de sistema

Incluye sistemas de refrigeración, control electrónico de voltaje (para prevenir sobrecargas potenciales) y mecanismos de equilibrio de las celdas.

Capítulo 4

Análisis de los Inputs críticos: metales

4.1 Situación actual

En primer lugar es importante dejar claro cuál es el concepto que se le está dando a la palabra input en el presente proyecto. Un input habitualmente es todo recurso utilizado en un determinado proceso, por lo que en este caso, consideraremos inputs a los materiales necesarios para la fabricación de las baterías.

Dentro del espectro de materiales necesarios para fabricar las baterías, se focalizará en los metales, pues se caracterizan por tener precios al alza [¹⁹], y en la gran mayoría de los casos, se producen en lugares remotos (a Europa, siguiendo una perspectiva local). Por esto es importante caracterizarlos, para conocer en la medida de lo posible las posibilidades que existen de que se dependa en exceso del suministro exterior.

El análisis que se realiza en las siguientes líneas tiene como principal fuente la publicación realizada por el Deutsche Bank, ‘Electric Cars: Plugged In’ y la información web de LME⁵.

Especial atención se le muestra al Litio, que, como es obvio es un input importante en la fabricación de baterías de iones de Litio, y se han alzado voces críticas cuestionando la seguridad del suministro de Litio [20].

4.1.1 Los metales industriales

Aunque los metales no son el componente mayoritario en la fabricación de baterías, su uso será seguramente un aspecto fundamental en el desarrollo del sector, debido al origen del suministro y al precio de estos. Actualmente, a nivel de mercado, los metales se encuentran en medio de un ciclo alcista que no tiene precedentes en la historia reciente. Es más, la mayoría de los metales alcanzaron records históricos en términos de precios nominales antes de la crisis económica, y comienzan a repuntar como se verá más adelante.

El sorprendente alcance del cambio estructural en las tendencias de la demanda global es el resultado de la transformación socio-económica en la que el mundo se encuentra actualmente. Los mercados emergentes (Brasil, Rusia, India y China entre otros), han mantenido el ciclo alcista en el que se encuentran los metales más allá de lo esperado inicialmente. Estas condiciones han generado una situación en la que los productores de metales industriales no han sido capaces de abastecer la demanda, por lo que los metales han alcanzado mínimos históricos en ratios “*stock-to-consumption*”⁶.

Mientras que algunos metales tienen actualmente una correlación muy fuerte con la industria global del automóvil, otros probablemente aumentarán su demanda significativamente gracias a la electrificación del sector del transporte. El litio será el principal beneficiario, pero hay otros metales necesarios como inputs para la fabricación de baterías (Cobalto, Níquel, Cobre, aunque esto finalmente dependerá de la tecnología predominante en el sector) y la construcción del vehículo (aluminio, aceros aleados).

La mayoría de los metales utilizados en la industria han sufrido un déficit estructural (la demanda ha sobrepasado a la producción) antes de la crisis económica más allá del ciclo alcista actual. Históricamente, el precio de los metales ha tendido a fluctuar en ciclos, con periodos de déficit de mercado seguidos de periodos de alta demanda (*Figura 15*). El ciclo actual es diferente, pues a pesar del incremento significativo de la producción, la demanda a superado al suministro de forma continua.

⁵ LME: “London Metal Exchange”, bolsa de metales de Londres. Web: www.lme.com.

⁶ Cociente del stock inicial más la producción y el consumo total.

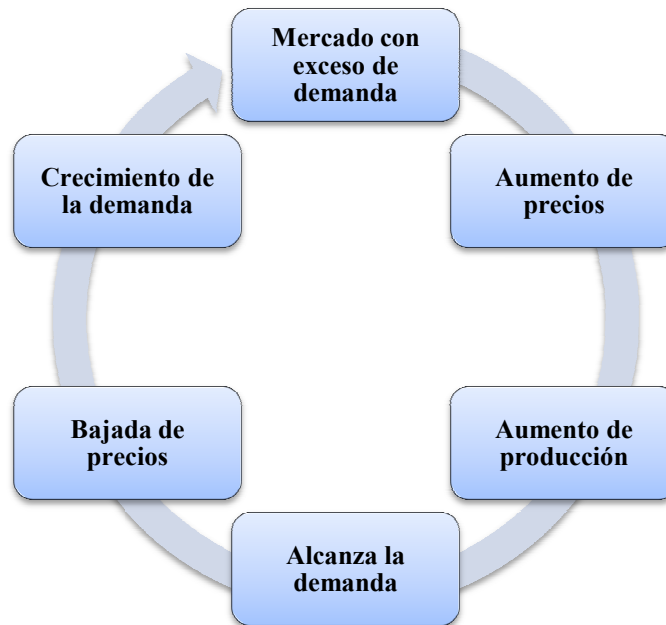


Figura 15. Ciclo de mercado tradicional de metales.

El coste de la energía y la continuidad de suministro energético serán las cuestiones clave que tendrán que afrontar los productores de metales.

En las grandes regiones del planeta asociadas a la minería, los productores han disfrutado de un tratamiento preferencia en forma de subsidios para apoyar al sector. La reciente rápida inflación del precio de la energía ha forzado a muchos gobiernos a reconsiderar estas políticas. Los altos costes energéticos llevan a las compañías a reevaluar la viabilidad económica de algunos proyectos.

Como resultado, las compañías tradicionalmente mineras se han visto obligadas a considerar regiones tradicionalmente no mineras para nuevas producciones. Estas áreas tienden a ser más remotas y políticamente sensibles, razones que incrementan los costes y los riesgos de suministro.

4.1.2 Aluminio

Anteriormente, este metal se había quedado por debajo en cotización respecto a otros metales comunes, aunque sin duda, ya no es el caso. El aluminio ha sido líder en cotización en el London Metal Exchange y los expertos esperan que se mantengan los precios en niveles altos para los próximos años.

El “metal ligero” es el más expuesto a los mercados de energía, por su alta intensidad energética, razón fundamental para que el mercado se encuentre dentro de una dinámica alcista (a causa del elevado precio de la energía). China, que es el mayor consumidor y productor de aluminio, decidió en 2008 limitar las exportaciones de productos con alta intensidad energética, y el aluminio, es el primero de dichos productos. Estas medidas están encaminadas a paliar los problemas que están

desarrollando algunas industrias Chinas, a causa del desarrollo descontrolado que lleva a implementar procesos de baja eficiencia, existiendo el riesgo de llegar a la sobre capacidad. Por esto la “China’s National Reform and Development Commision’s” (NDRC), tiene como objetivo lograr la desaceleración de la producción primaria de aluminio, por lo que la capacidad de China de influir en el mercado y por lo tanto en el precio del Aluminio se puede considerar importante.

Actualmente los precios se encuentran ligeramente a la alza, y han evolucionado desde 2009, por lo que parece que el ciclo alcista continua más allá de la crisis como se puede apreciar en la figura 16.



Figura 16. Evolución del precio del Aluminio (US\$/tonelada).
(http://www.lme.com/aluminium_graphs.asp, Accedido en Julio de 2010)

4.1.3 Cobalto

El cobalto se utiliza principalmente en súper-aleaciones, la fabricación de metales muy específicos para su uso en la industria del automóvil, aeroespacial, química y de audio. Se produce principalmente en África central y China, pero también hay una buena cantidad de materiales secundarios o reciclados en el mercado. Como la mayoría de los metales, los precios se han mantenido cerca de máximos durante varios años y teniendo en cuenta las limitaciones de suministro (debido al origen de la oferta), la dinámica de mercado probablemente seguirá siendo similar durante los próximos años. La República Democrática del Congo y Zambia son la principal localización de algunos de los más ricos yacimientos de cobalto del mundo (a la par que de cobre, se suelen explotar de manera conjunta). Esta región está plagada de dificultades de abastecimiento energético, problemas de infraestructura, controversia sobre la idoneidad de las inversiones extranjeras, así como una inestabilidad política persistente. Por último, los precios del cobre y del cobalto en el mercado estarán relacionados, ya que se extraen generalmente asociados.

4.1.4 Cobre

Durante los últimos años, el cobre ha sido uno de los metales cuyo precio ha aumentado más notablemente, principalmente como consecuencia de su alta correlación con el crecimiento de la producción industrial. Es mayoritariamente utilizado en infraestructuras de telecomunicaciones y de producción y transporte de energía, así como en el sector de la construcción. Por esto la demanda de este metal se vio ampliamente incrementada como consecuencia del sector de la vivienda durante el ciclo anterior a la crisis de 2008, y obviamente como consecuencia de la irrupción de las economías emergentes en el mercado. Actualmente el cobre se vuelve a cotizar al alza, dejando atrás el bajón producido en 2009 ^[22]. Chile es el proveedor de más de un tercio de la demanda mundial y está atravesando problemas de escasez de suministro eléctrico a causa de la sequía en las regiones con dependencias del suministro de origen hidroeléctrico y la inseguridad del gas natural suministrado por Argentina. Aparte de Chile, de manera similar al Cobalto, el suministro de cobre proviene de áreas del planeta con carencias de infraestructura e inestabilidad política, como África central y Asia central.

4.1.5 Níquel

La gran mayoría del níquel primario se consume en el sector del acero inoxidable que ha sufrido un espectacular crecimiento la última década, alcanzando la máxima cotización según la Bolsa de Metales de Londres (LME) durante el año 2007, y actualmente vuelve a cotizar al alza a niveles superiores a los de 2005 ^[23]. El sector está principalmente expuesto al sector de la construcción, pero el acero inoxidable de alta calidad es también un importante input en la industria del automóvil y aeroespacial. Los precios del níquel han sido mucho más volátiles durante este ciclo que los del resto de metales mencionados, pero en valor medio han aumentado a causa de la inalcanzable demanda, de nuevo liderada por China.

4.2 El Litio

Un input clave para el proceso de producción de la batería de iones de litio es obviamente el litio (más específicamente el carbonato de litio Li_2CO_3). La inmensa mayoría de este material se produce actualmente en los lagos salados de Chile (55%), Argentina (16%) y Nevada (12%), de un área conocida como “El Triángulo del Litio”, que se profundizará más adelante. El resto de la producción actual (17%) es de origen Chino, como se observa en el gráfico de la Figura 17.

Origen de la producción mundial de Litio

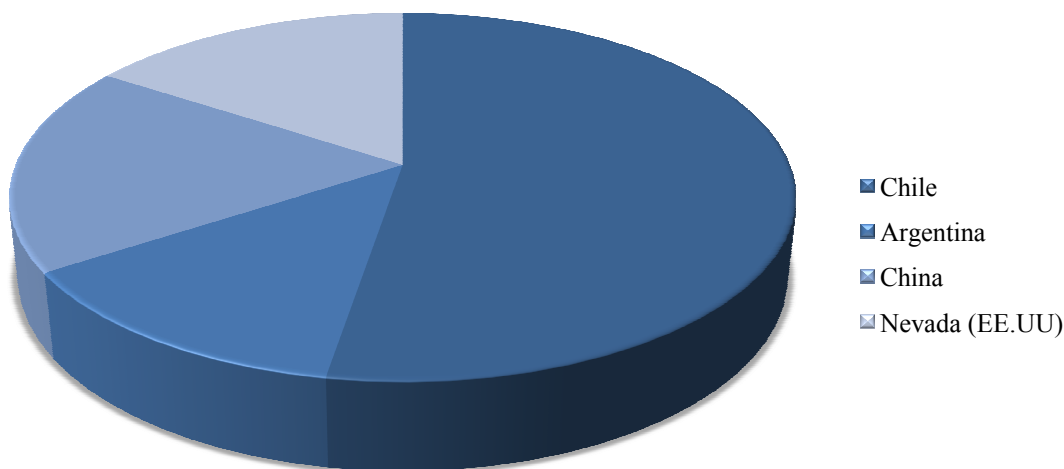


Figura 17. Cuota de mercado según origen de la producción mundial de Litio
(Deutsche Bank, “Electric Cars: Plugged In”, página 43, 9 de Junio de 2008)

4.2.1 Estructura de la industria del Litio

Como se desarrollara posteriormente, el Litio se extrae de dos formas fundamentalmente, aunque en primer lugar se procede a caracterizar la industria del Litio para conocer las necesidades del mercado, y que tipo de inputs específicos utilizan las baterías de iones de litio. Para llevar a cabo esta labor, en primer lugar citaremos los subproductos o precursores del litio metal que son utilizados en la industria, y a continuación desglosaremos las aplicaciones para las que son interesantes. Los subproductos o precursores son: el carbonato de litio, el hidróxido de litio, cloruro de litio con baja concentración de sodio, cloruro de litio con alta concentración de sodio y la industria de la cerámica y vidrios.

Se pueden diferenciar dos grandes bloques dentro de la estructura de la industria del Litio en función de la procedencia del mismo, el destinado a la industria de la cerámica y vidrios (que proviene de explotaciones de espodomena⁷), y el destinado al resto de aplicaciones, que denominaremos “Litio químico” (en contraposición al proveniente de espodomena, explotado como mineral), que proviene de la producción a base de salmuera. En la Figura 18 se observa la estructura industrial del Litio químico, que es el que atañe a la industria de las baterías y a la par el que es responsable de mayor porcentaje de la demanda agregada de Litio como se verá más adelante (apartado 4.2.3).

⁷ La espodomena es un mineral del grupo de los silicatos. Su composición química es en un 64,5% SiO₂, un 27,4% Al₂O₃, y un 8,1% Li₂O₈.

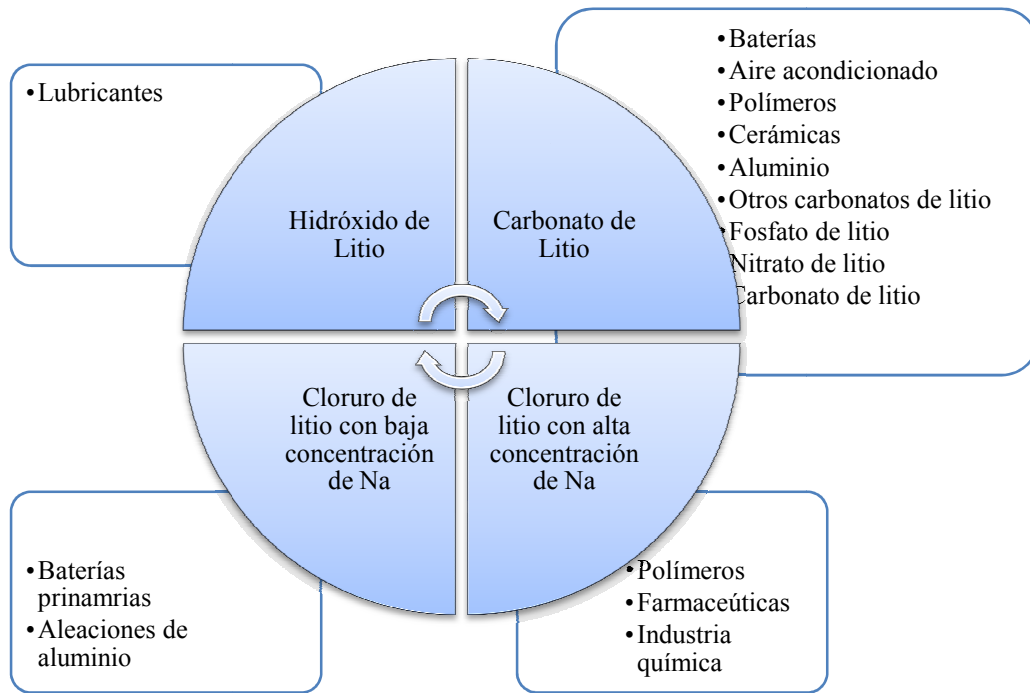


Figura 18. Estructura de la Industria del Litio

El Carbonato de Litio

4.2.2 Producción actual de Litio

La producción actual de Litio se puede clasificar según el proceso de obtención del mismo y a la par el origen del mismo en dos grandes bloques: se puede distinguir entre la producción basada en la explotación de lagos salados a partir de salmuera y la extracción mineral, explotaciones mineras de “roca dura” habitualmente de forma conjunta con otros minerales.

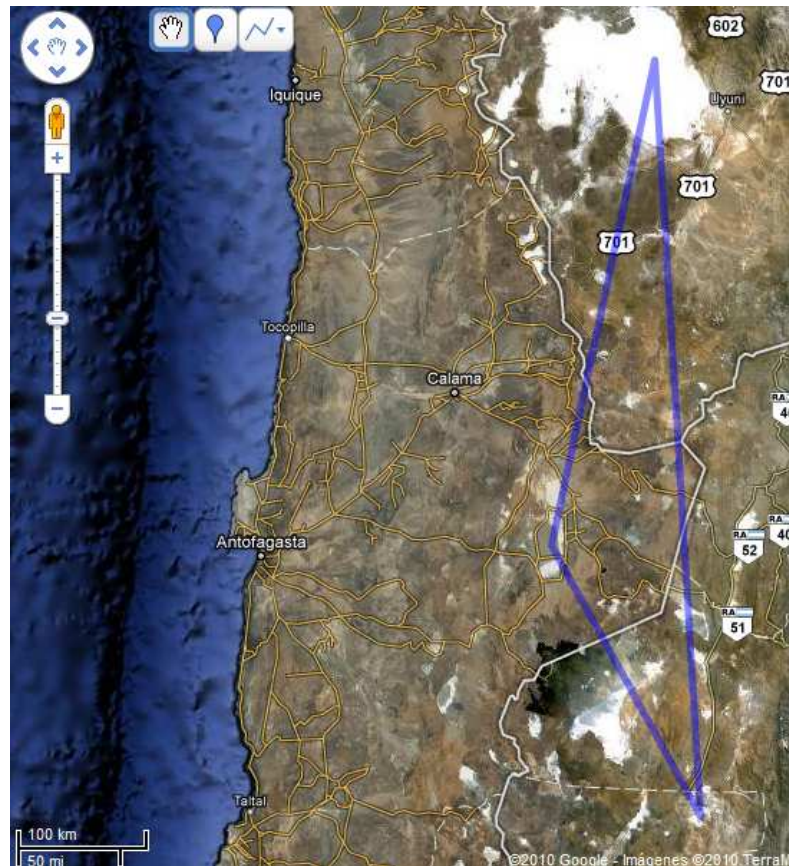
La principal diferencia entre ambos procesos a nivel de mercado radica en el coste de ambos. Por esto, al nivel de precios actual, no debe extrañar que la demanda global de litio sea provista principalmente por zonas del planeta en las que la extracción de litio se basa en la explotación de grandes lagos salados.

4.2.2.1 Extracción basada en Salmuera

La extracción basada en la Salmuera actualmente tiene su foco principal en Sudamérica, en lo que se conoce como el triángulo del litio. Es importante la capacidad que puede llegar a desarrollar China, compartiendo el liderazgo mundial con Sudamérica.

4.2.2.1.1 El triángulo del Litio

Aproximadamente el setenta por ciento de los depósitos económicamente operables a nivel mundial, se encuentran en un espacio relativamente reducido a escala planetaria, el triángulo del Litio, situado entre las fronteras de Chile, Bolivia y Argentina. El triángulo está formado principalmente por tres salares: El Salar de Atacama, El Salar de Uyuni y El Salar del Hombre Muerto. En la imagen de la Figura 19 se puede apreciar la cercanía de las explotaciones y los tres vértices del triángulo, su localización andina los hace ser regiones de elevada altitud (al igual que las reservas de salmuera localizadas en China, cerca del Tíbet, como se verá posteriormente).



*Figura 19. Disposición del Triángulo del Litio
(<http://maps.google.es>, Accedido en Mayo 2010)*

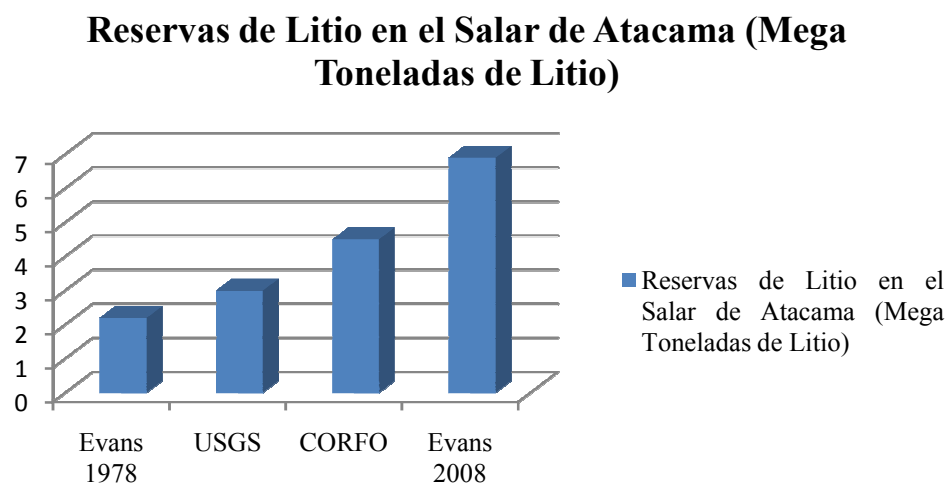
Los lados del triángulo del litio miden aproximadamente 360 km, 280 km y 560 km. Dentro de esta relativamente estrecha área se encuentran más del 70% de las reservas mundiales de Litio. Las exportaciones de los tres países se realizan a través del puerto Chileno de Antofagasta. Las ciudades de Potosí (Bolivia), Salta (Argentina) y Antofagasta (Chile) se convertirán en las tres capitales mundiales del Litio si la industria del automóvil termina por disparar la revolución de las baterías de iones de litio.

4.2.2.1.2 El Salar de Atacama

El Salar de Atacama es el mayor depósito de Litio de calidad (en términos de salmuera con elevada concentración de Litio) en el mundo. Como explotación, la extracción es mucho menos cara y menos intensiva en energía que la mineral. La concentración del litio es la mayor del mundo y el ratio de evaporización natural en el desierto de Atacama es el mayor del mundo, lo que permite un alto ritmo de producción. En tamaño absoluto el Salar de Atacama es el segundo del mundo tras el Salar de Uyuni, pero es el primero del mundo en términos de Litio económicamente extraíble.

En 1978, el contenido en litio del Salar de Atacama estaba estimado en 2,2 mega toneladas a 60 m de profundidad. La USGS⁸ estima que las reservas de Litio en el salar de Atacama están cerca de los 3 mega toneladas. La compañía minera estatal Chilena CORFO⁹ estima que las reservas de litio en el Salar son de 4,5 mega toneladas de Litio metal, aproximadamente un 50% mayores que las estimaciones de USGS. En un informe de 2008 la compañía Chilena SQM¹⁰ estimo que las reservas de Litio en el Salar de Atacama eran de 6,9 mega toneladas a una profundidad de 200 m dentro del Salar, en la Figura 20 se aprecia la diferencia entre las estimaciones. La concesión de SQM le permite explotar el salar a una profundidad de 40 m.

El siguiente grafico muestra como las estimaciones del contenido de Litio del Salar de Atacama se han ido incrementando.



*Figura 20. Reservas de Litio en el Salar de Atacama
(Meridian International Research, "The problema with Lihium 2 under the microscope", página 9, 29 de Mayo de 2008)*

⁸ USGS "U.S Geological Survey": Servicio Geológico de los Estados Unidos.

⁹ CORFO: Agencia de Desarrollo Económico de Chile.

¹⁰ SQM "Sociedad Química y Minera".

Estructura geológica

Para saber cuánta salmuera útil en términos económicos contiene Litio en el Salar de Atacama, analizaremos su estructura geológica.

El lecho de un lago de sal se compone de cloruro de sodio seco o sal común. Este forma un depósito sólido llamado halita¹¹ o más comúnmente sal de roca. La parte superior de este cuerpo de halita que se encuentra cerca de la superficie es relativamente porosa y permeable al flujo de agua (que forma un acuífero a través del cual fluye la salmuera que contiene litio y otros minerales útiles (potasio, magnesio boro). Más abajo, en el cuerpo de halita, tras milenios de cementación de precipitación de las sales por las corrientes de salmuera y la compactación del bloque de poros, se convierte en roca de halita cada vez más impermeable y sólida. Esto significa que la sal útil, con un contenido de Litio y otras sales solubles, se encuentra a sólo en los primeros 40 metros de profundidad (ver Figura 21).

Sección Estructura geológica del Salar de Atacama

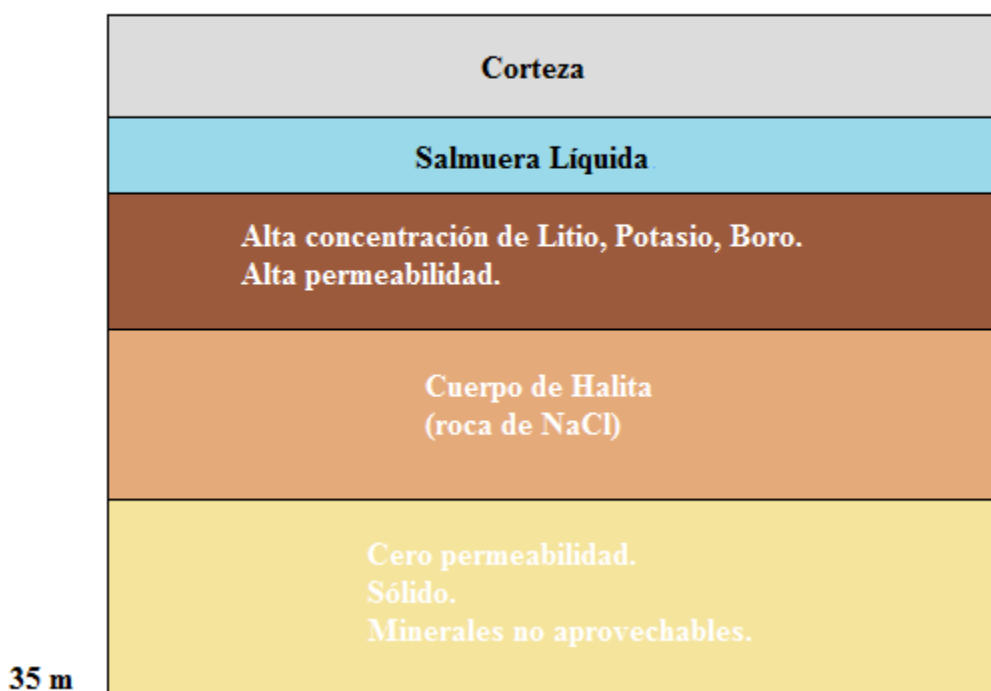


Figura 21. Sección de la estructura geológica del Salar de Atacama
(Meridian International Research, "The problem with Lihium 2 under the microscope", página 10, 29 de Mayo de 2008)

Los estudios sísmicos del Salar de Atacama llevados a cabo durante la década de los 70, mostraron que la porosidad considerablemente alta se encontraba hasta una profundidad de 20 a 25 m, más una composición adicional de baja porosidad hasta los 35 m de profundidad. Por debajo de esta profundidad, la sal se recrystaliza completamente y la halita se convierte en una masa solida, y por lo tanto no hay poros. Esto significa que no hay Litio extraíble más allá de la profundidad actual de explotación, simplemente roca de sal solida. Sólo los primeros 30 metros de altura

¹¹ Se denomina halita, sal gema o sal de roca al mineral formado por cristales de cloruro de sodio.

tienen alta transktividad, es decir, sólo en esta región puede existir un flujo relativamente libre de salmuera para rellenar las zonas desde donde se extrae.

Mientras que el Salar de Atacama se extiende una superficie de 3500 km², el núcleo central de halita posee una extensión de 1000 a 1400 km². El área principal de importancia comercial del Salar está situada en una capa entre los 15-30 primeros metros debajo de la superficie de la corteza del núcleo. Debajo de esta capa de 30 m, el núcleo es roca sólida hasta 600m y en algunos lugares hasta 900 m.

El mapa de contorno que se puede apreciar en la Figura 22, muestra las líneas de igual concentración de litio (“isopachs”) en el Salar y en el núcleo.

El mapa de contorno muestra que la distribución del Litio está lejos de ser homogénea. La mitad sur del lecho de lago muestra concentraciones de litio del orden de 1000 a 1500 ppm. El área de mayor concentración, donde la producción se centra actualmente es una pequeña zona en la región sur de aproximadamente 100 km² de extensión. Las líneas de contorno llegan a mostrar concentraciones de 4000 ppm, en las que concentraciones tan altas como 7000 ppm han sido encontradas. El área con concentraciones del orden de 4000 ppm tiene una extensión de 8 km², el área con concentraciones del orden de 3000 ppm tiene alrededor de 20 km² y el área con concentraciones de 2000 ppm tiene una extensión de 80 km².

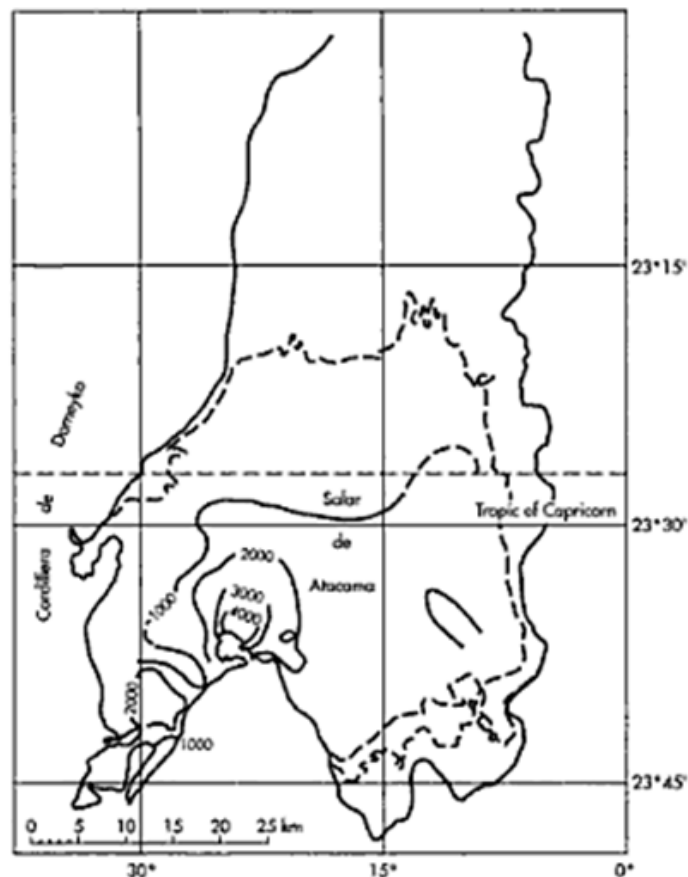


Figura 22. Salar de Atacama, Concentración de litio en ppm.
(Kogel JE: “Industrial Minerals and Rocks”, página 604, Blackwell, 2006)

El epicentro de la producción mundial y recursos de Litio es un área de 8 a 30 km² de extensión.

En la región más céntrica de 8 km², asumiendo un 10% de porosidad (según CORFO) y una profundidad para la salmuera de 40 m, una concentración de litio de 4000 ppm y una gravedad específica para la salmuera de 1,2 g/cc, la cantidad total de litio en este lugar en la década de los 70, antes de que la explotación comenzara eran aproximadamente 150.000 toneladas o 820.000 toneladas de Li₂CO₃ equivalentes. La región de 20 km² con una concentración de 3000 ppm contendría 288.000 toneladas de litio o 1,5 mega toneladas de Li₂CO₃ equivalentes.

El epicentro del Salar de Atacama en el que la concentración del Litio supera las 3000 ppm es un área de 30 km² con 35 metros de profundidad.

Antes de que la producción de litio comenzara el epicentro contenía unas 450.000 toneladas de litio metal.

SCL comenzó la producción de carbonato de litio en 1984 con una capacidad de producción de 13000 toneladas al año. SQM comenzó la producción en Diciembre de 1996 con una capacidad de 18000 toneladas al año. Según la Meridian International Research, la producción de carbonato de litio equivalente hasta la fecha es del orden de 500.000 toneladas.

Por esto, del orden de 100.000 toneladas (alrededor del 20% de litio metal del epicentro de la mayor reserva de litio de alta calidad del mundo) han sido extraídas, y posiblemente 5/8 del depósito de mejor calidad de concentraciones de más de 4000 ppm.

SQM ha ampliado su capacidad actual de producción de carbonato de litio en su planta del puerto de Antofagasta alrededor de un 50%, hasta las 48.000 toneladas al año. Esto requerirá acceder a áreas del salar de menor concentración de litio. A la par que la producción se incrementa, recursos de menor grado de concentración deberán ser explotados, disminuyendo el beneficio.

Se puede ver que aumentando la producción mucho más allá de las 100.000 toneladas al año de carbonato de litio, requeriría cubrir un área importante del salar con pozos de explotación, líneas de tuberías y estanques de evaporación. El daño medioambiental para este ecosistema único y un área de belleza natural que había permanecido intacta durante años sería incalculable.

Es ampliamente reconocido por geólogos especializados en halita, que la porosidad de la halita disminuye rápidamente al incrementarse la profundidad (lo hace de manera exponencial). Esto significa que el volumen de espacio libre entre la roca de sal y el depósito de halita de NaCl disminuye de manera exponencial (al doblar la profundidad, el espacio libre o los poros disponibles para contener el litio se ve dividido por cuatro). Existe un límite muy definido sobre la profundidad desde la que la salmuera puede ser bombeada, y este límite es aproximadamente 40 m en el caso del Salar de Atacama. SQM opera a una profundidad de unos 30 m y 40 m es la profundidad a la que su concesión se extiende.

Se puede ver que la concesión de SQM solo le permite operar a 40 m por una razón evidente: más allá de esta profundidad el cuerpo de halita es roca dura vacía de litio u otros minerales útiles.

Todos los minerales de interés se encuentran únicamente en las intrusiones de fluidos en los poros que se encuentran en los 35 primeros metros del cuerpo de halita (no en la halita por sí misma).

La impermeabilidad de la roca de sal es conocida. La producción únicamente puede ser aumentada a expandiendo la superficie de producción, no la profundidad.

Si la porosidad en la capa superior de la zona sur del Salar de Atacama es solo del 4,4 % como ha estimado Hydrotechnica y no del 10% como afirma CORFO, entonces, antes de que la producción de Litio comenzará este epicentro contenía alrededor de 200.000 toneladas de litio.

Conclusión

El Litio solo se encuentra en los primeros 35 m en profundidad en el Salar de Atacama.

Desde 1984 alrededor de 100.000 toneladas de Litio han sido extraídas del depósito más rico en litio en la zona sur del Salar.

Las investigaciones más realistas basadas en el conocimiento de la baja porosidad de la zona sur del Salar, concretan que esta zona tenía unas reservas de 200.000 toneladas de Litio antes de que la producción comenzase. Las medidas más optimistas de la porosidad arrojan una cifra de 450.000 toneladas.

Mientras que el núcleo puede contener 3 mega toneladas o más de litio en total, el acceso a estos solo se podría conseguir mediante la destrucción total del salar, extendiendo los pozos y las líneas de tuberías sobre una superficie muy extensa del Salar. Las reservas realistas recuperables son menos de una mega tonelada de litio.

Serán necesarios aumentos de capital y recursos para mantener la producción a niveles actuales debido a la disminución de contenido en Litio del salar. Cualquier incremento de la producción requerirá acceder a áreas de menor concentración en Litio e incrementos exponenciales en los recursos por unidad de producción incrementada.

4.2.2.1.3 El Salar de Hombre Muerto

El Salar de Hombre Muerto era la segunda reserva de sal de litio disponible para producir en Sur América después del Salar de Atacama. Esta localizado aproximadamente a 220 km al sur este del Salar de Atacama. Su explotación para la producción de litio comenzó entre 1997 y 1998.

En vez de utilizar la evaporación solar, FMC utiliza un sistema propio de adsorción mediante alúmina para extraer el litio directamente desde la salmuera. Es necesario

alimentar el sistema con agua para limpiar los lechos de adsorción cuando se encuentran llenos de litio. La MIR cita estimaciones de 800.000 toneladas de reservas de litio como aceptables para la capacidad del salar. El salar es pequeño en términos de superficie, pero la salmuera puede ser extraída a mayores profundidades que en la mayoría de los salares.

La concentración de Litio varía entre 220 y 1000 ppm y FMC produce en un área con una concentración media de 650 ppm. La concentración sobrepasa las 700 ppm en la mayoría de la superficie del Salar.

La producción de carbonato de litio es de alrededor 12000 toneladas al año y la de cloruro de litio (LiCl) del orden de 6000 toneladas al año. Este es utilizado como input por FMC para sus negocios relacionados con la química del litio. Se ha estimado que las reservas duraran 75 años al ritmo de extracción actual, que es alrededor de 5000 toneladas al año de litio metal. Esto definiría unas reservas totales de 375000 toneladas, aproximadamente la mitad de las 800.000 citadas anteriormente.

4.2.2.1.4 Salar de Uyuni

Aunque la producción no ha comenzado aún en el Salar de Uyuni (sin tener en cuenta la planta piloto desarrollada por el gobierno de Bolivia), es necesario analizarlo como una futura fuente de explotación de Litio de gran importancia. Esto es así, porque se trata del mayor depósito de litio del mundo, ya que contiene más del 40% de salmuera de litio a escala mundial.

Según algunas fuentes (Evans, 2008), el Salar de Uyuni contiene 5,5 megatoneladas de litio. Esta cantidad representa el contenido estimado de litio metal del salar, no las reservas recuperables. Desde la década de los 80, fuentes bolivianas han estimado unas reservas de 9 mega toneladas. La USGS estima unas 5,4 megatoneladas.

El Salar de Uyuni tiene un elevado ratio magnesio/litio, de aproximadamente 18,6/1, tres veces mayor que el Salar de Atacama. Cuanto mayor es este ratio, mas difícil es producir litio. El alto ratio de Uyuni evitara la formación de cloruro de litio (LiCl) en las balsas de evaporización, a no ser que el magnesio sea retirado antes de que la evaporación y concentración comience. Hasta ahora este ha sido uno de los mayores problemas para explotar el Salar de Uyuni. La solución es pre tratar la salmuera con hidróxido de calcio para reducir el contenido en magnesio antes de que comience la vaporización, como hace Admiralty Resources en el Salar de Rincón.

Con 10.000 km² de área, el Salar de Uyuni es el mayor lago salado del mundo. En él, la concentración de litio varia ampliamente en diferentes regiones del salar y el área de mayor concentración de litio (unas 1000 ppm) es una pequeña area el el sur este, al lado del Rio Grande. Esta área tiene del orden de 280 km² de extensión. Niveles tan altos como 4700 ppm se han localizado, pero en puntos muy concentrados e insignificantes. El área con una concentración mayor de 3000 ppm tiene del orden de 50 km² de extensión. En el resto del lago, la concentración de litio cae a niveles de 500 a 600 ppm. La producción de litio debería centrarse en el pequeño cuadrante sur este ya

que aportaría menores beneficios en las otras áreas del lago. Viendo el mapa de contorno en la Figura 23, se puede apreciar que la mayoría del litio contenido en el Salar de Uyuni permanecerá inaccesible o llevaría décadas extraerlo, sin contar el impacto medioambiental (y a la par turístico) que conlleva cubrir el lago de instalaciones para la explotación del mismo. Como en el Salar de Atacama, expandir la producción fuera de la región de alta concentración (La región del lago Rio Grande), resultaría mucho más caro por el incremento de los recursos necesarios. La evaporización solar es 1500 mm al año, menos de la mitad que el ratio de Salar de Atacama (se ve influenciado por la elevada altitud).



Tomando como datos de referencia un epicentro de 200 km² con una concentración de litio de 2000 ppm a 3,5 m de profundidad, un 35% de porosidad y una densidad para la salmuera de 1,2g/cc, las reservas de litio en la zona más rica sería de 600.000 toneladas, que tras aplicarles un factor de recuperación del 50% obtendríamos unas reservas recuperables de 300.000 toneladas.

Las reservas recuperables de Litio en la región central del epicentro de concentración (región con mayor concentración de litio) en el Salar de Uyuni son de 300.000 toneladas.

Es una estimación comparable con la de Risacher and Fritz's para la cantidad total de litio en la franja sur, que cuantifica las reservas en 500.000 toneladas.

La estructura geológica es por tanto bastante opuesta a la del Salar de Atacama, explotación con menor coste de operación, se puede observar en la Figura 24 las notables diferencias en cuanto a profundidad y extensión.

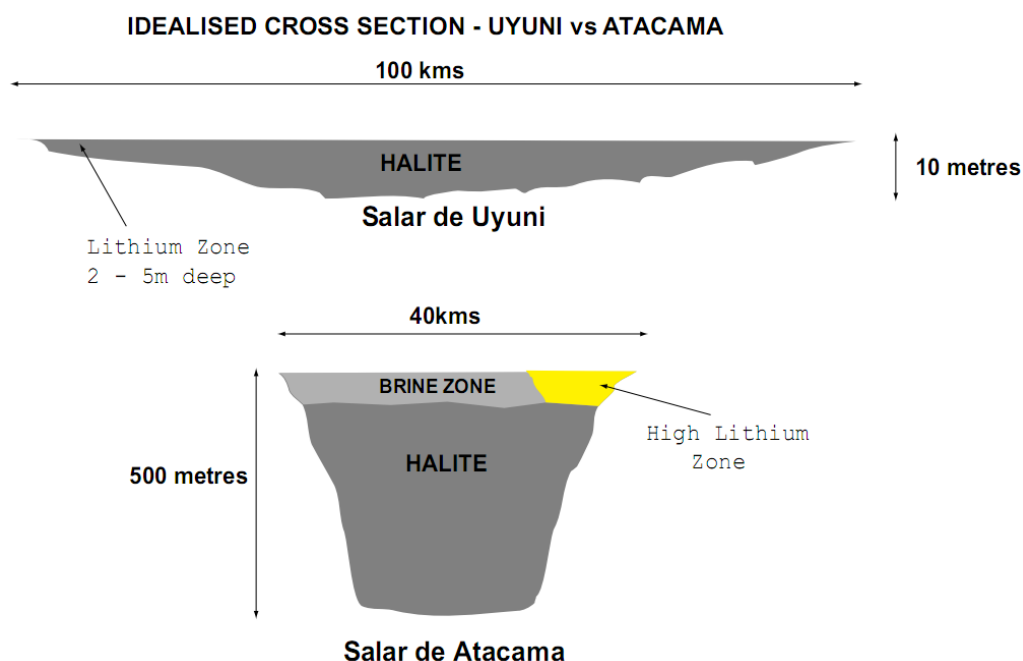


Figura 24. Estructura geológica del Salar de Uyuni vs Salar de Atacama
(Meridian International Research, "The problem with Lithium 2 under the microscope", página 18, 29 de Mayo de 2008)

Potencial de producción

A finales de Marzo de 2008, Evo Morales, presidente de Bolivia firmo un decreto para la inversión de 5,7 millones de \$ para desarrollar una planta piloto propiedad del gobierno de Bolivia en el Salar. Será dirigida por la "Directiva General de los Recursos Evaporativos del Salar de Uyuni" bajo la tutela de la compañía estatal minera Comibol. Existe una clara intención por parte del Gobierno de Bolivia de nacionalizar la industria minera al completo, aunque si existe la posibilidad de desarrollar joint ventures con compañías extranjeras para desarrollar la explotación de los recursos.

Bolivia ha declarado tener las intenciones de producir 1000 toneladas de litio al mes para 2013, o 60000 toneladas al año de carbonato de litio equivalente. Esta cantidad

sería un 50% superior a la producción actual del Salar de Atacama, el mayor productor de litio del mundo. El grado de recursos en Uyuni es aproximadamente un 50% superior al de Atacama, el ratio Mg/Li es tres veces mayor y el ratio de evaporización es 1500 mm al año frente a los 3600 mm al año del Salar de Atacama.

Teniendo en cuenta estos factores es muy poco probable pensar que 60000 toneladas al año de carbonato de litio equivalente sean producidas en el Salar de Uyuni en 2013. Si todo marcha de acuerdo al plan, una predicción más realista podría ser 10.000 toneladas al año para 2015 y 30000 toneladas al año para 2020.

Cuando el grado real de concentración y la distribución del litio en el Salar de Uyuni es considerada, se puede apreciar por que no es un recurso particularmente atractivo. El epicentro principal tiene menor calidad (en términos de concentración) que de Atacama, Comparados con los 30-35 m disponibles en Atacama, Uyuni dispone únicamente de 2 a 5 m de profundidad en este punto. La mayor porosidad (entre 3,5 y 8 veces más poroso que el de Atacama, en función de si tomamos las estimaciones de CORFO o las de Hydrotechnica) compensa este espesor muy inferior del depósito hasta cierto punto. La cantidad total de litio almacenado en el epicentro es comparable con la de Atacama pero extendiendo el área a más del doble. Adicionalmente, el ratio magnesio/litio es tres veces mayor y el ratio de evaporización es solo el 40% del de Atacama. A pesar de la alta porosidad, la cantidad de litio en el cuerpo de sal por unidad de área es mucho menor que en Atacama. (Si el depósito de Atacama tiene 35 m versus 3,5 m y tiene 10% de porosidad versus 35%, entonces, a pesar de todo Atacama posee 3 veces más salmuera intersticial por unidad de superficie y la concentración de litio en dicha salmuera sigue siendo mayor).

Por esto, una mucho mayor superficie de área de Uyuni deberá ser explotada para una producción equivalente con el correspondiente mayor impacto ambiental y mayor coste de explotación. El depósito es muy estrecho por lo que es una complicación extra para el bombeo a los pozos. Puede que sea necesario excavar grandes depresiones en la superficie para llenarlas de salmuera y posteriormente bombearla hacia el exterior, o sistemas de trincheras similar al utilizado en las salinas de Bonneville. Estas soluciones tendrían un elevado impacto ambiental, difícil de cuantificar.

El Salar de Copaisa situado al norte del de Uyuni contiene 200000 toneladas de litio en baja concentración.

Factores medioambientales

Como se menciona anteriormente, el Salar de Uyuni es el mayor lago salado del mundo y el elemento más brillante en la superficie terrestre visible desde el espacio. Turísticamente, puede ser clasificado como una maravilla de la naturaleza y es indudablemente un área de gran belleza natural. Durante la primavera, el salar aloja una zona de cría para flamencos. Las lluvias suelen inundar la superficie del salar entre enero y marzo. La temporada de reproducción de los flamencos es de Diciembre a Febrero. La desembocadura del Rio Grande en el Salar, adyacente al lugar en el que la concentración de litio es mayor, crea un lago permanente utilizado por varias especies de aves (ver Figura 25).



Figura 25. Fotografía de flamencos en el Salar de Uyuni
(<http://uyuni-turism.com/uyuni/imagenes/lagunas>
Acceso 4 de Julio de 2010)

Unos 60000 turistas visitaron el Salar de Uyuni en 2006 a pesar de la pobre infraestructura de la zona y el número sigue en aumento. La infraestructura de la zona está siendo mejorada con la construcción de una nueva carretera entre el pueblo de Uyuni y Potosí para mejorar el acceso a los turistas.

Conclusión

Aunque el Salar de Uyuni parece ser un depósito de grandes dimensiones de litio en términos absolutos, el litio se encuentra muy disperso sobre un área muy extensa y muy estrecha.

La reserva explotable (actualmente) es por esto solo del orden de 300.000 toneladas de litio.

4.2.2.1.2 Recursos en China

En China hay tres lagos salados principales de interés en relación a la producción de Litio:

- El lago salado situado al este de Taijinaier en la cuenca del Qaidan, situado en la provincia de Qinghai, al norte del Tíbet.
- El lago salado DXC situado al sur oeste del Tíbet.
- El lago salado Zhabuye al oeste del Tíbet.

En Agosto de 2005, una planta con capacidad para producir 5000 toneladas al año de carbonato de litio procedente del lago Zhabuye fue abierta. El gobierno chino afirma que la capacidad se incrementará a largo plazo hasta suministrar 20000 toneladas al año de producción. Este lago salado se encuentra en una región muy remota a una altitud de unos 4400 m. Los ratios de evaporización son por esto menores que los de Chile o Argentina. El carbonato de litio se produce en este lago de forma natural, cristalizando en las orillas del lago.

La cuenca del Qaidan es reconocida en China como la mayor reserva del litio del país. Esta región, al norte del Tíbet, fue una vez un inmenso lago. Ahora contiene 33 lagos salados. La producción piloto de LiCl y Li_2CO_3 (500 toneladas año) del lago salado Taijinaier se comenzó en 2004 y la producción a escala comercial ya está en marcha. La CITIC Guoan Scientific and Technical Company, inauguró oficialmente una planta con capacidad para producir 35000 toneladas de carbonato de litio en Golmund, provincia de Qinghai el 11 de Enero de 2007. Llevará varios años que la producción alcance la capacidad máxima, pero hace a esta planta la segunda mayor del mundo en términos de producción de carbonato de litio tras la que tiene SQM en el Salar del Carmen, cerca de Antofagasta (que ha aumentado su capacidad a 38000 toneladas al año).

CITIC Guoan tiene una gran participación en MGL, el mayor fabricante de cátodos de LiCoO_x de China para baterías de iones de litio.

El lago salado situado en la región central del Tíbet (DXC) tiene una concentración de litio de 400 mg/l o 0,04% y un ratio de magnesio/litio de solo 0,22. La extracción es atractiva desde esta perspectiva, pero el lago es una reserva pequeña, contenido únicamente una mega tonelada de LiCl o 160 kilo toneladas de contenido en litio. Con una eficiencia en la recuperación del 50% la producción total de carbonato de litio que podría esperarse del lago sería del orden de 400000 toneladas. El lago está situado a 4400 m sobre el nivel de mar y a más de 400 millas de la vía más próxima.

4.2.2.2 Extracción Mineral

La extracción de mineral es más cara que el proceso mediante el cual se obtiene el litio de la salmuera en lagos salados. De forma general, este tipo de extracción ha quedado relegada para aplicaciones en las que se requiere el mineral de forma directa extrayendo la espudomena, un mineral del grupo de los silicatos cuya génesis es a partir de las pegmatitas (roca ígnea).

Oeste de Australia

A 300 km de Perth, se encuentra el mayor yacimiento de pegmatita del mundo, en términos de cantidad y de calidad del mineral en cuanto a concentración de Litio. Este localizado en Greenbushes, y como se ha mencionado anteriormente, debido al mayor coste de explotación de estos yacimientos, el principal mineral extraído de esta mina es el tantalio.

Greenbushes, al margen de la producción de tantalio, es el mayor productor de concentrados de espudomena del mundo, destinados a ser utilizados en la cerámica de alta temperatura y el vidrio.

A finales de 2007, después de tres años en la administración, la empresa propietaria de la mina, Sons of Gwalia, fueron comprados por Talison Minerals.

La capacidad de producción de concentrados de espudomena es de 150.000 toneladas anuales. Se producen dos concentrados principalmente, uno con un grado de

concentración de óxido de litio (Li_2O) del 4,8% y otro con un grado de concentración del 7,5%.

Sons of Gwalia cesó la producción de carbonato de litio (Li_2CO_3) a partir de la espudomena en 1998, después de que SQM entrará en el mercado con una fuente de bajo costo salmuera Carbonato de Litio.

Carolina del Norte

El yacimiento de Carolina del Norte dejó de ser económicamente competitivo como productor de Carbonato de Litio en la década de los 80. La planta Lithco en Bessemer City contaba con una capacidad de litio (químico) de 15000 toneladas anuales de carbonato de litio (Li_2CO_3) equivalente, pero no se producía exclusivamente carbonato de litio. La planta de carbonato de Litio de la Cyprus Foot Mineral Co (Kings, Carolina del Norte), tenía una capacidad de 8000 toneladas al año, produciendo carbonato de litio al 99,1%. Por esto hubiese sería necesario un tratamiento posterior para alcanzar el 99,95% de carbonato de litio, considerando estándar en la fabricación de baterías. La explotación de Bessemer fue cerrada en 1998 y las instalaciones de Kings Mountain en 1986.

Tomando como base las cifras de Kesler, citado por Evans [²⁷], la concentración de litio promedio en el depósito de Carolina del Norte es de 70 ppm. El USGS no incluye estos depósitos en sus estimaciones, ya que fueron reemplazados por la producción de salmuera. Dada la prioridad de Seguridad Nacional que se ha dado a reducir la dependencia del petróleo extranjero, de forma homóloga con el litio, los depósitos de Carolina del Norte en teoría, podrían volver a ser desarrollados, para reducir la dependencia exterior del litio, aunque no pueda ser tan económica como la producción a partir de salmuera.

Estimación de los costes de producción de Litio en 1992 según International Meridional Research de producción Li_2CO_3 de la siguiente manera (Tabla 2):

Tabla 2. Costes de producción del carbonato de Litio

Localización	Coste por kg de Li_2CO_3 (\$ de 1992)
FMC/ Lithco, Bessemer City, NC (Espudomena)	2,43\$/kg
Cyprus Foote Mineral Co, Silver Peak, Nevada (Salmuera)	1,65\$/kg
Sociedad Chilena del Litio, Atacama (Salmuera)	1,1\$/kg

El coste relativo de producción de carbonato de litio a partir de espudomena en los EE.UU. actualmente, es casi seguro que sería aún mayor del doble del coste de producirlo en el Salar de Atacama, dado el aumento en el costo de la energía en los últimos años.

4.2.2.3 Principales productores

SQM

SQM explota aproximadamente el 65% de la producción de carbonato de litio procedente de Chile y aproximadamente el 34% de la producción mundial de Litio. El 65% explotado proveniente de Chile tiene como origen el Salar de Atacama, lugar en el que compite con Chementall (división de Rockwood Holdings). Este lago tiene características muy favorables: gran contenido de litio, altitud relativamente baja y un clima relativamente más seco que otras áreas con similares ratios de evaporación (y por lo tanto similar velocidad de producción). El lago tiene unas 8 MM de toneladas de reservas recuperables, más del 20% de las reservas conocidas en todo el planeta. SQM produce el litio tanto como producto como para input para la producción de clorato de potasio y sulfato de potasio, aspecto fundamental para que la extracción de Litio sea económicamente rentable.

FMC

FMC es el único productor de Litio en el Salar del Hombre Muerto en Argentina. Produciendo aproximadamente 12.000 toneladas, es responsable del 16% del suministro global. Esta región es menos favorable que la comentada anteriormente, debido al menor contenido de litio y la mayor elevación. El Salar de Hombre Muerto contiene 4 MM de toneladas de reservas (aproximadamente el 11% de las reservas mundiales conocidas).

Rockwood Holdings/ Chemetall

Rockwood Holdings/ Chemetall es un grupo que explota el Salar de Atacama en la región de Chile (de forma conjunta con SQM) y una zona de Nevada. La compañía produce alrededor de 14000 toneladas en Chile y unas 9000 toneladas en Nevada. La producción en Nevada se espera que decrezca durante los últimos años.

Admiralty Resources

ADY es una compañía start-up¹² que está desarrollando diez minas de hierro en Chile, y de Litio y potasio en el Salar de Rincón en Argentina.

CITIC

CITIC es una subsidiaria de CITIC Guoan, que controla el lago salado con mayor potencial de producción de Litio en China. También tiene participaciones importantes en Guoan Mengguli Corporation, el productor de cátodos de baterías de iones de litio líder en China.

4.2.3 El Litio como posible cuello de Botella

Como ya se mencionó anteriormente, el Litio está despertando gran interés en relación con las baterías para vehículos eléctricos, principalmente, el interés está

¹² Start-up: negocio con una historia de funcionamiento limitada, pero con grandes posibilidades de crecimiento.

relacionado con la garantía de suministro, la procedencia del mismo y el coste de este. Teniendo como precedente la dependencia de occidente del petróleo en los vehículos convencionales, es importante caracterizar el recurso (Litio), con el objetivo de que a largo plazo se puedan tomar las medidas necesarias para evitar depender de manera excesiva de las importaciones y evitar sobreexplotaciones de recursos que dañen el medioambiente de manera irreversible.

Como se analizó en el apartado 4.2.1 la estructura de la industria del Litio, se puede diferenciar en dos grandes bloques en función de la procedencia de este. Litio producido explotando lagos salados (a través de la salmuera) y Litio obtenido a través de explotaciones mineras (espudomena). Esta diferenciación será importante más adelante.

Para concretar el estado del suministro a largo plazo, se tomará como referencia principal el análisis realizado por TRU group, un grupo con dilatada experiencia internacional en la industria de explotación del Litio, (Anderson, ER: “Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth”), cuya primera revisión se realizó en 2008, y a lo largo de 2009 y 2010 han corregido de acuerdo a la situación económica.

El análisis se abordará de la siguiente manera: en primer lugar se analizará la previsión de la demanda, en segundo lugar se analizarán las posibilidades de suministro, y en tercer lugar se analizarán de forma conjunta y se concluirá cual será la situación a largo plazo de acuerdo a la caracterización del recurso que se hizo en apartados anteriores.

4.2.3.1 Análisis de la demanda

Demanda agregada

La demanda agregada es la resultante de la suma de demandas de cada uno de los dos grandes bloques descritos anteriormente, es decir la demanda agregada de Litio es la suma de la demanda con origen explotaciones de salmuera más la demanda con origen explotaciones minerales. El hecho de que el “Litio químico” (utilizado en la industria para la obtención de carbonatos, cloruros e hidróxidos) se pueda obtener a un coste relativamente bajo a partir de explotaciones de salmuera relega el Litio obtenido a partir de la mena (espudomena principalmente), a ser utilizado directamente en forma de mineral.

La tendencia al alza de la demanda para todo el periodo objeto de análisis se ve truncada en 2009 a causa de la recesión global (Figura 26, flecha roja), volviendo a subir en 2010.

En el periodo 2002-2007, el crecimiento de la demanda estuvo ligado al “boom” de las baterías de Litio en la electrónica, informática y telefonía móvil, que se comportaron como el autentico motor de la demanda del Litio.

La demanda del Litio toma un crecimiento a largo plazo (hasta 2020) de media de similar a la del histórico del periodo 2002-2007, entre un 7 y un 8% anual (ver Figura 26).

Es importante notar que en ningún momento se habla de que se alcance la madurez de la demanda, dejando abierta la posibilidad de crecimiento más allá del año 2020.

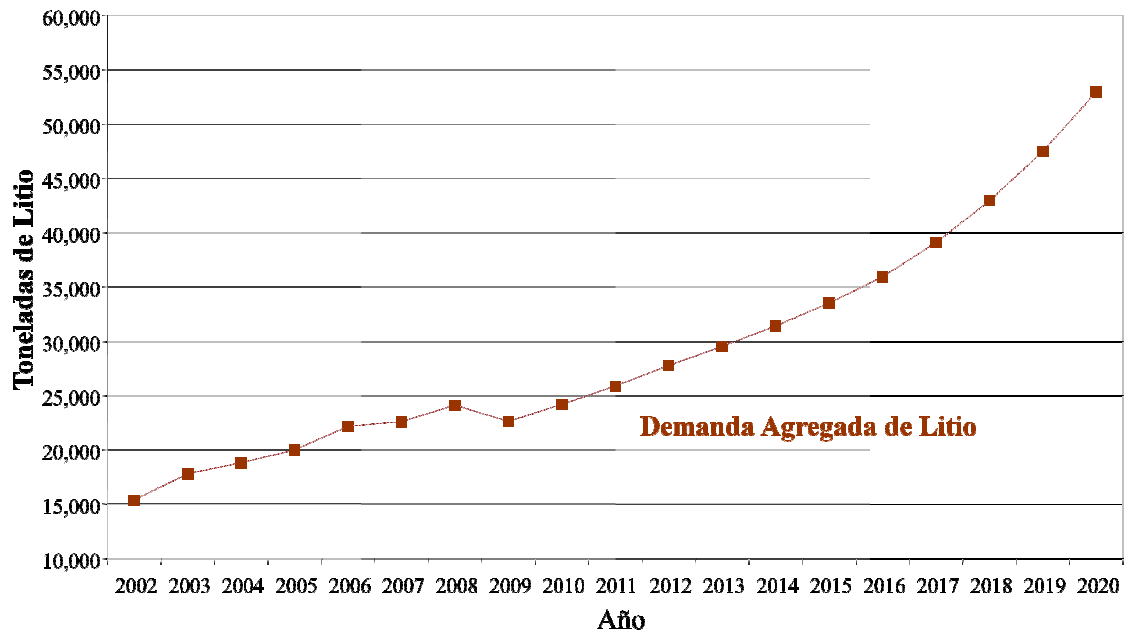


Figura 26. Demanda agregada de Litio a largo plazo.

(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth", TRU Group, Slide 8, 18 de Noviembre de 2009)

Impacto de las baterías en demanda total

El Litio consumido en la fabricación de baterías, según el análisis de TRU Group, será uno de los principales motores del incremento de la demanda, de hecho ya lo ha sido en el periodo anterior (2002-2007) de la mano de la electrónica de consumo. El impulso definitivo de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos elevaría el porcentaje de demanda total con destino fabricación de baterías hasta un 39% en 2020, como se puede apreciar en la Figura 27.

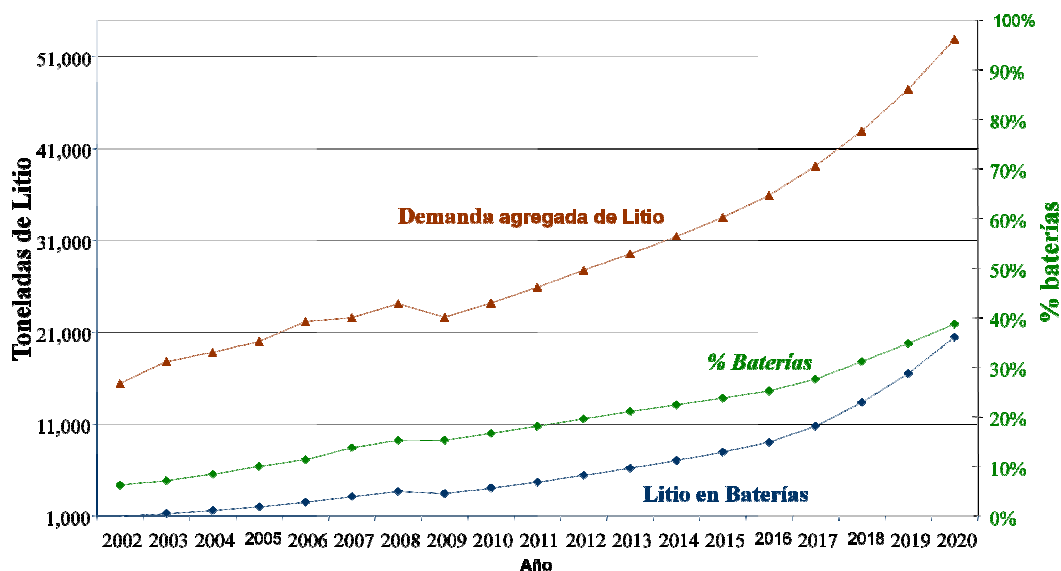


Figura 27. Gráfica con detalle de la importancia de demanda de baterías.

(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth", TRU Group, Slide 9, 18 de Noviembre de 2009)

Con el objetivo de conocer la importancia de las baterías para vehículos eléctricos específicamente, TRU Group analizó la estructura de la demanda con ese destino y el resultado es el que se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Cuota de la demanda en función del tipo de batería.

Tipo\Año	2002	2007	2020
Primarias	40%	21%	8%
Secundarias	60%	79%	54%
EV	0%	0%	38%

(Anderson, ER: “Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth”,
TRU Group, Slide 12, 18 de Noviembre de 2009)

El uso de baterías primarias continuará para dispositivos con escasas exigencias de consumo de energía, mientras que la recarga no sea más sencilla.

El uso de baterías secundarias (se consideran baterías secundarias aquellas que son recargables, utilizadas en diversas aplicaciones como: teléfonos móviles, laptops y herramientas eléctricas o “power tools”) fue el principal motor del crecimiento en el pasado reciente, pero se moderará hasta que llegue la maduración de este mercado, de ahí la evolución de la cuota en porcentaje que se puede apreciar en la Tabla 3.

A largo plazo, el uso del litio en baterías para vehículos eléctricos (principalmente en el cátodo, pero puede que también en el electrolito), será el motor del crecimiento de la demanda.

4.2.3.2 Análisis de Suministro/Producción

La caracterización estratégica del suministro de Litio se abordará teniendo en cuenta la siguiente estructuración básica:

- Suministro desde explotaciones ya existentes.
- Suministro desde nuevos desarrollos.
- Suministro desde nuevos recursos/yacimientos.

En el apartado anterior se caracterizó la previsión de la demanda, que resultó ser notablemente creciente a largo plazo. El suministro trata siempre de seguir a la demanda para restablecer el equilibrio de mercado, y teniendo en cuenta el incremento de la misma aparece la necesidad de analizar los posibles motores del incremento del suministro o producción de Litio. A continuación se citan estos posibles motores.

Las instalaciones de bajo coste de operación actuales (basadas en la explotación de lagos salados), se pueden expandir significativamente. Esta decisión, como se ha visto en la caracterización de los Salares en apartados anteriores, llevaría a tener que utilizar mayores recursos para obtener la misma cantidad de Litio por lo que los costes de operación se incrementarían necesariamente. También llevaría ligada un mayor impacto ambiental, ya que sería necesario hacer más extensivas en superficie las explotaciones actuales.

El desarrollo de nuevas tecnologías, que aparezcan en la industria para proveer de nuevas opciones para desarrollo de plantas de producción de Litio a pequeña y mediana escala, algunos ejemplos de tecnologías emergentes se citan a continuación:

- Adsorción selectiva de iones.
- Electrodialisis.
- Nano filtración.

El suministro o producción basada en minerales (para las químicas derivadas del Litio más básicas) puede ser rentable con la subida de precios. El mercado y el nivel de precios determinarán que yacimientos son explotables y cuáles no, de la misma forma que en el pasado obligo a cesar la producción de carbonato de Litio en explotaciones de Carolina del Norte.

En la Tabla 4 se puede apreciar la evolución de las alternativas de suministro citadas anteriormente, separando entre plantas actuales, nuevos proyectos (en yacimientos ya existentes), nuevos recursos y explotaciones minerales (para uso directo).

Tabla 4. Evolución de las alternativas de suministro

Alternativas/Año	2002	2007	2017	2020
Plantas actuales	77%	72%	62%	53%
Nuevos proyectos	0%	0%	18%	15%
Nuevos recursos	0%	0%	0%	12%
Uso directo (mineral)	0%	28%	20%	20%

(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth", TRU Group, Slide 18, 18 de Noviembre de 2009)

Una de las características más remarcables de la predicción de TRU Group es que a largo plazo, la producción seguirá siendo suministrada en mayor medida por las explotaciones que operan en la actualidad.

Los nuevos desarrollos, no marcarán en exceso el suministro a largo plazo, llegando en el año 2020 a menos de un quinto de la producción.

En la Figura 28 aparece representado gráficamente la proyección que describe la Tabla 4, es importante señalar que la alternativa nuevos recursos que aparece a largo plazo como respuesta al crecimiento de la demanda impulsado por la utilización de baterías de iones de Litio en vehículos eléctricos y el consecuente aumento del precio.

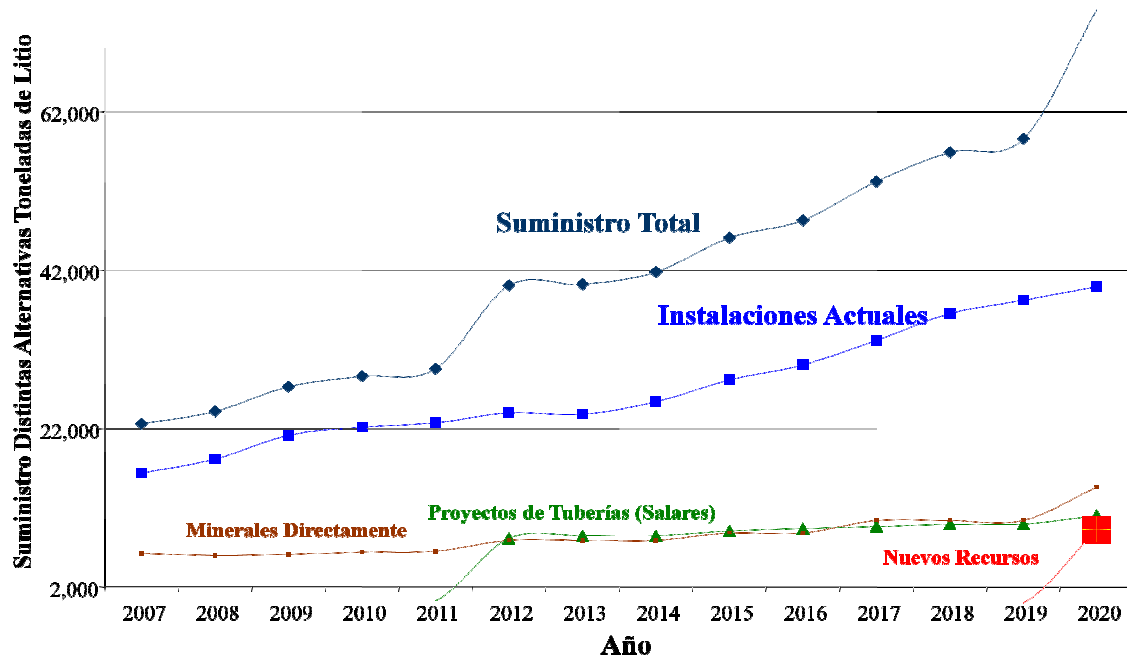


Figura 28. Gráfica detalle origen de suministro a largo plazo.
(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth", TRU Group, Slide 19, 18 de Noviembre de 2009)

4.2.3.3 Demanda vs Suministro

Tras conocer las proyecciones de la demanda y el suministro a largo plazo, el siguiente paso es conocer como están interrelacionadas ambas variables, aspecto fundamental y objetivo último del análisis.

En la Figura 29 se observa la gráfica que enfrenta la demanda agregada versus todo el suministro agregado. Como se aprecia, teniendo en cuenta todos los recursos de Litio (teniendo en cuenta los provenientes de minerales) sería muy difícil encontrar una situación en la que la demanda no fuese satisfecha.

A parte de esto, si el precio del Litio sube lo suficiente, recursos que actualmente no son rentables lo serán y nuevos recursos podrán ser descubiertos utilizando nuevas tecnologías.

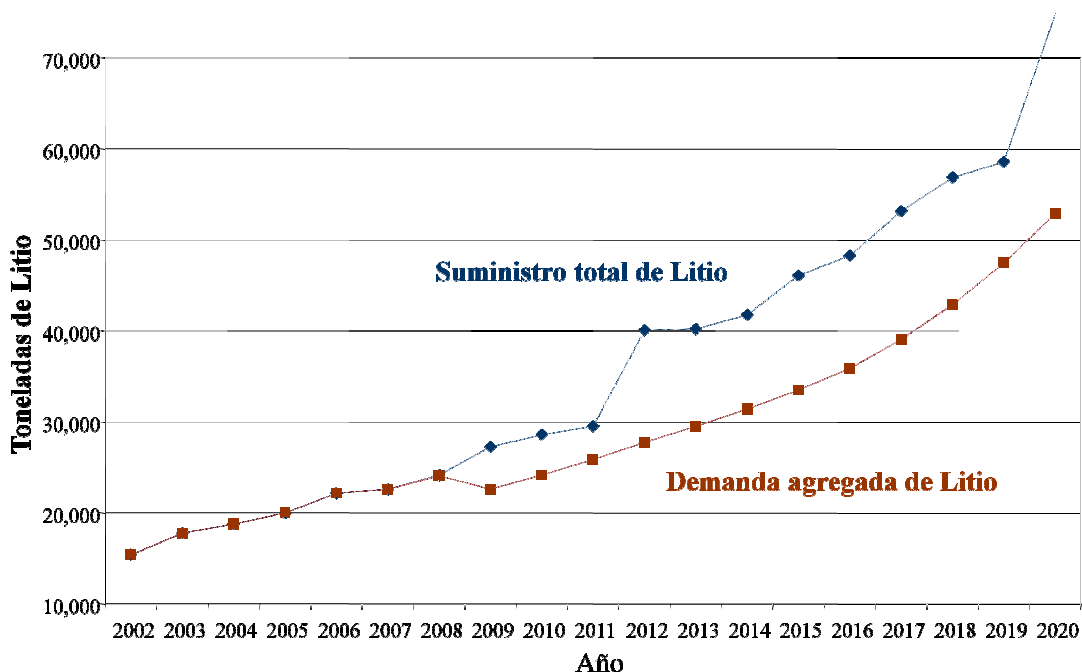


Figura 29. Demanda total vs Suministro total.
(Anderson, ER: “Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth”,
TRU Group, Slide 20, 18 de Noviembre de 2009)

Esta gráfica (Figura 29) no es más que una primera aproximación, para conocer con más exactitud las tendencias del mercado es necesario analizar el suministro de litio “químico” y el balance (entendido como la diferencia entre capacidad de suministro y demanda) para conocer las presiones de la industria.

De modo que, considerando únicamente demanda y suministro de litio “químico”, entendido por químico el que es utilizado en la producción de hidróxido de litio, cloruro de litio con baja concentración de sodio, cloruro de litio con alta concentración de sodio y carbonato de Litio (este último utilizado en la fabricación de baterías de iones de Litio); se tendrá un análisis más fiable y exigente de la viabilidad y seguridad del suministro del Litio para la aplicación que interesa al presente proyecto.

Dos escenarios

Al abordar el análisis de la situación de la relación suministro/demanda a largo plazo, se pueden presentar dos escenarios futuros, el primero (denominado Escenario 1), de precios a la alza, en el que las presiones del mercado llevaría a un incremento de los precios y fomentaría el desarrollo y construcción de nuevas explotaciones; y el segundo (denominado Escenario 2), de precios estables, en el que únicamente el proyecto del Salar del Rincón (en Argentina) saldría adelante por encontrarse en una fase de desarrollo más avanzada y ser el más rentable en términos de coste.

Escenario 1 (Precios a la alza)

En la Figura 30 se ve representada la demanda de Litio “químico” versus el suministro de Litio de las plantas existentes más el de todos los proyectos planeados (se supone que se desarrollan todos gracias a la subida del precio).

En caso de que se llegase a esta situación, la demanda sería superada a largo plazo por el suministro, aunque no parece factible, ya que sin un incremento notable de los precios alrededor de 2011 no sería posible el desarrollo de todos los proyectos.

Una parte de la demanda debería alcanzarse a partir de explotaciones de salmuera más costosas y utilizando recursos minerales.

En cualquier caso, esta gráfica muestra algo importante: con las plantas que funcionan actualmente no se podría abastecer la demanda cerca del año 2019, por esto, se puede afirmar que alguno de los proyectos que están en desarrollo deben concretarse.

Una conclusión importante que puede sacarse de esta gráfica es que existe capacidad de aumentar la producción de Litio si las presiones del mercado lo requiriesen (ante un incremento de Demanda, con un incremento de precios asociado, existiría la posibilidad de abastecer la demanda con un margen de maniobra de 5-7 años para el desarrollo de nuevas plantas).

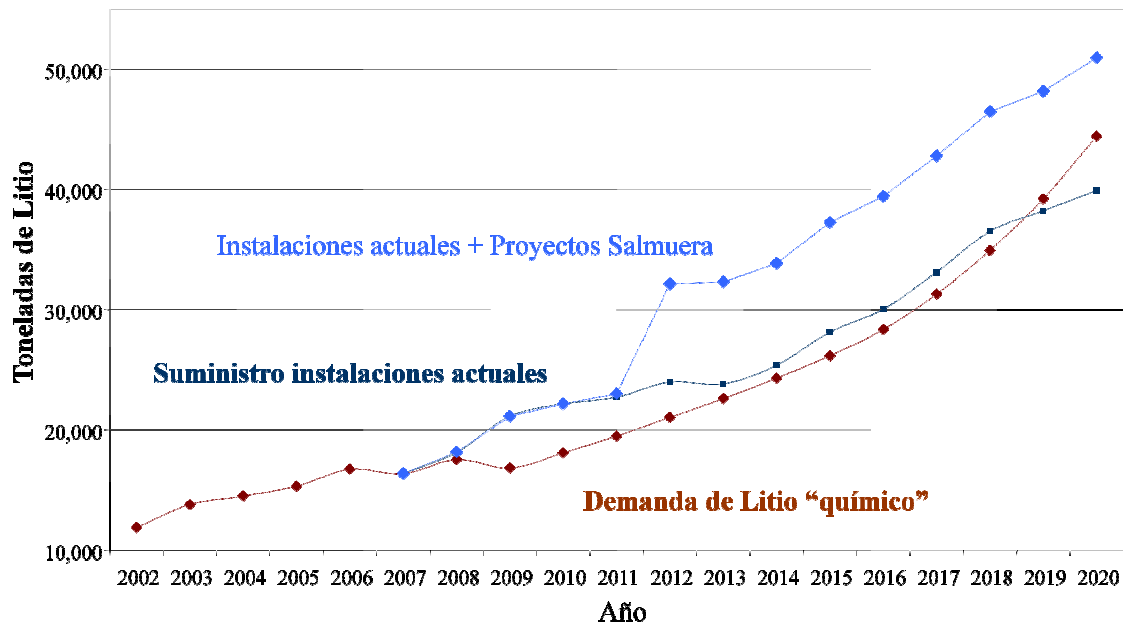


Figura 30. Demanda LQ vs Suministro plantas actuales más Suministro proyectos.
(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth",
TRU Group, Slide 20, 18 de Noviembre de 2009)

Escenario 2 (Precios estables)

Los productores actuales expandirán las instalaciones actuales en la medida de lo posible para seguir a la demanda, pero no comenzará un "boom" de desarrollo de nuevas infraestructuras de explotación del Litio pues el mercado no marca esa tendencia.

El proyecto de Rincón funcionará tal y como se ha proyectado.

Este escenario, es el más probable de acuerdo a la situación vivida a lo largo de 2009 en la que la capacidad de suministro ha superado notablemente a la demanda, originando una leve caída de precios, acompañada por la reducción de capacidad de SQM de un 20%.

Se trata del escenario más probable, con precios constantes, ya que la capacidad de producción abordará sin problemas las exigencias de la demanda como puede verse en la Figura 31 a partir de las explotaciones actuales.

Se plantea un escenario bastante estable a medio plazo como se aprecia, hasta 2013, en la que la capacidad de producción crecerá menos que la demanda hasta que se reequilibre parcialmente el balance suministro/demanda.

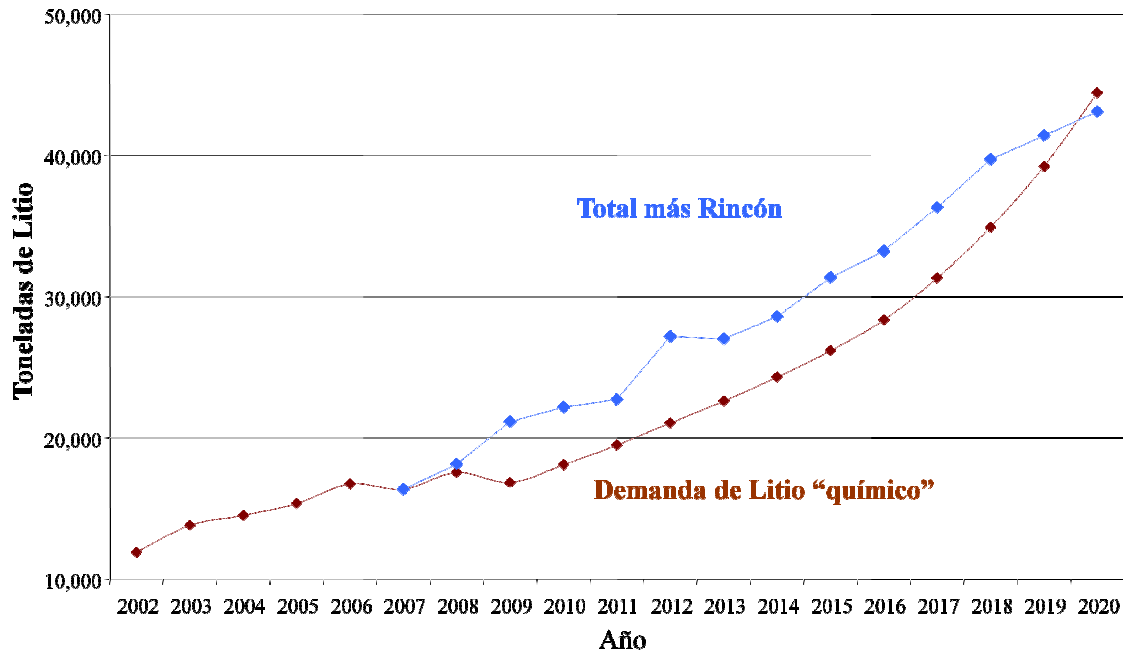


Figura 31. Demanda LQ vs Suministro plantas actuales más Suministro Rincón.
(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth", TRU Group, Slide 22, 18 de Noviembre de 2009).

La gráfica de la Figura 31 muestra que a medio plazo (alrededor de 2013), será necesaria más capacidad de producción proveniente de algún nuevo proyecto (probablemente será el de Salar del Rincón), que actualmente se encuentra en un nivel de desarrollo avanzado por lo que no habrá problemas de suministro a medio plazo.

Alrededor de 2015 o 2017 será necesario un nuevo suministro competitivo en coste, por lo que será necesario analizar posibilidades de explotación de nuevos lagos Salados, de bajo coste, salvo que se produzca un alza del precio del Litio en el mercado que permita la explotación de alternativas más costosas (como por ejemplo de origen mineral). Es importante que la planificación de esta nueva planta se realice minuciosamente, pues actualmente se necesita alrededor de una década para la planificación de una nueva planta.

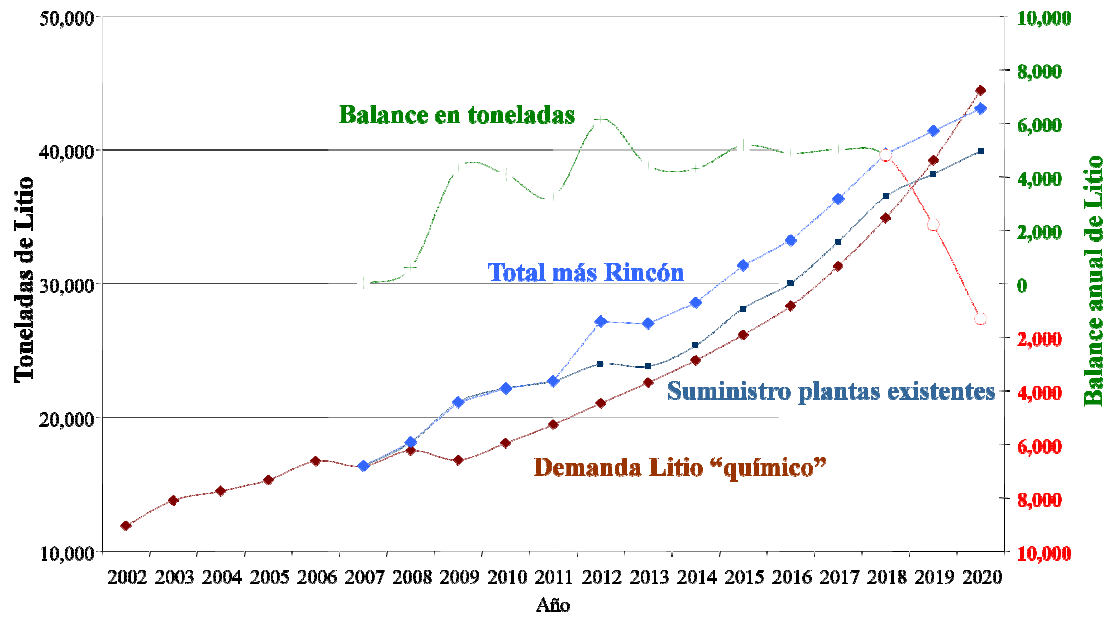


Figura 32. Escenario más probable.
(Anderson, ER: "Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth",
TRU Group, Slide 23, 18 de Noviembre de 2009)

4.2.3.4 Litio en Europa

Las reservas de Litio en Europa son prácticamente inexistentes (ver Figura 33) en términos de material económicamente extraíble, por lo que la dependencia del exterior es total, y teniendo en cuenta la lejanía de las explotaciones y la situación política de algunos países que futuriblemente controlaran parte de dicho suministro es importante buscar alternativas para reducir las importaciones y la dependencia del exterior, y el reciclado se presenta como una posible opción para este fin.



Figura 33. Reservas de Litio en Mega Toneladas.
(<http://action.pluginamerica.org/.../World-Lithium-Resource-Impact-on-Electric-Vehicles-v1.pdf>,
Visitado en Junio 2008)

Capítulo 5

Análisis de Mercado

5.1 Caracterización del mercado

El objetivo de esta sección es analizar el mercado de baterías para vehículos eléctricos (considerando todo el espectro comercial del término: vehículo eléctrico al 100%, vehículo eléctrico híbrido, vehículo eléctrico híbrido enchufable”), de forma completa, para comprender mejor las necesidades de reciclaje de materiales en una Industria con una importancia cada vez mayor, un elevado nivel de crecimiento y un nivel de desarrollo tecnológico importante.

Actualmente no se puede concebir el mercado de baterías para vehículos eléctricos sin el mercado de vehículos eléctricos propiamente dicho ya que la tendencia es entregar valor al cliente de forma conjunta entre proveedores de baterías y fabricantes de automóviles, mediante desarrollo de productos comunes y una concepción de la “Supply Chain”¹³ como elemento fundamental e integrador de esta colaboración.

Toyota y Panasonic (por medio de una “Joint Venture”¹⁴, operando de forma conjunta) dominan de forma conjunta el mercado de vehículos eléctricos. El mercado de

¹³ Cadena de Suministro.

¹⁴ Acuerdo comercial a largo plazo que se caracteriza por realizarse la inversión de forma conjunta.

vehículos híbridos de Estados Unidos e encuentra actualmente en una fase más avanzada que el Europeo (es el mayor mercado del mundo en este ámbito como se aprecia en la Figura 34), por lo que se analizará este para dar una idea del potencial que representa en Europa.

Top 5 Mercados de vehículos híbridos

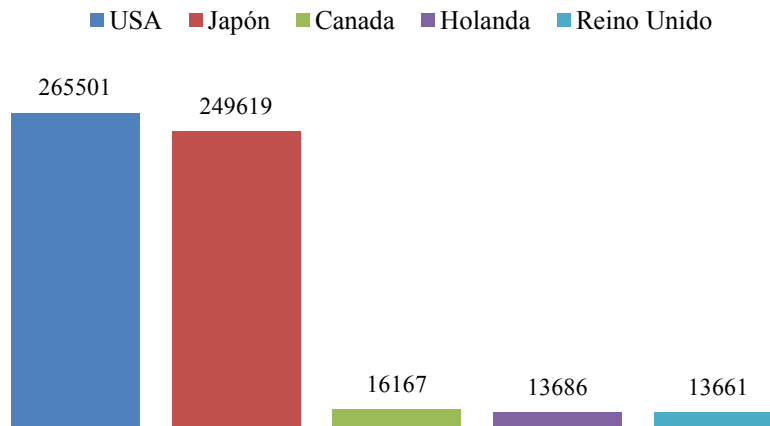


Figura 34. Top 5 Mercados (por países) de vehículos híbridos.
(<http://www.hybridcars.com/hybrid-sales-dashboard/december-2009-dashboard.html>, Accedido en Julio de 2010)

5.1.1 Evolución del mercado

Cuando un nuevo producto es lanzado al mercado (en este caso el vehículo híbrido), sigue un proceso de adaptación al mercado que depende de la actitud de los consumidores potenciales hacia la compra del mismo. En la Figura 35, se aprecia este proceso de adaptación que a continuación se utilizará para caracterizar la situación en el mercado de Estados Unidos.

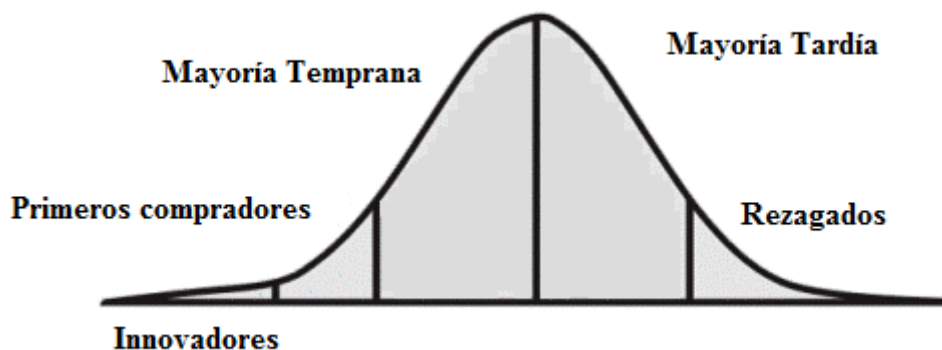


Figura 35. Evolución de la actitud y ventas de un nuevo producto.

En la Figura 35 aparece representada gráficamente la Evolución del mercado de vehículos híbridos en Estados Unidos, en la que se aprecia una clara tendencia al alza,

únicamente interrumpida por la caída de las ventas en 2008 a causa de la crisis económica global que se desencadenó, siendo el sector del automóvil uno de los más afectados.

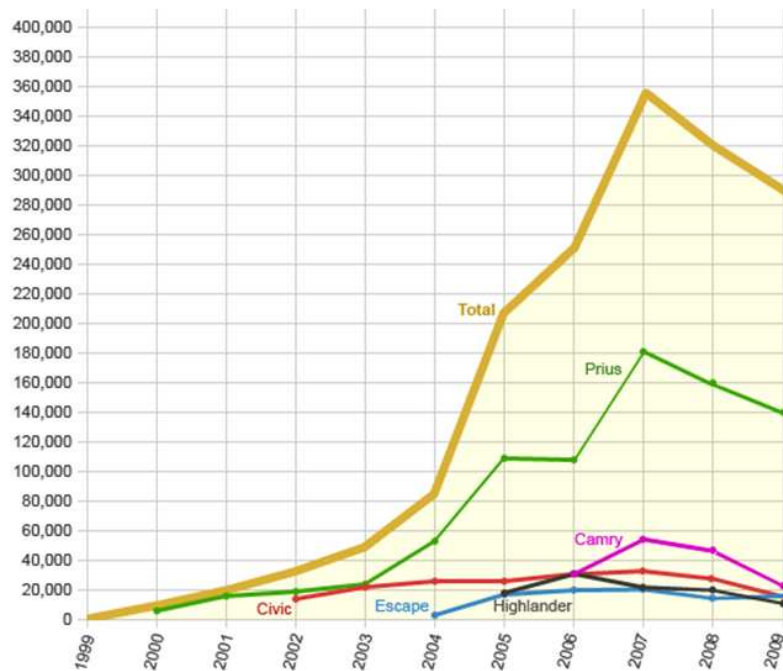


Figura 36. Evolución del mercado de vehículos híbridos en Estados Unidos.
(<http://www.hybridcars.com/hybrid-sales-dashboard/december-2009-dashboard.html>, Visitado en Julio de 2010)

Atendiendo a esta gráfica y a la caracterización de la evolución de las ventas en función de la actitud de los compradores potenciales, podemos situar el mercado de vehículos híbridos en la segunda fase, “early adopters” en la que los primeros compradores no innovadores se deciden a comprar el vehículo de acuerdo a sus necesidades. En esta situación, se aprecia que el lanzador inicial del producto (Toyota), domina el mercado (como se verá a continuación), y el resto de firmas tratan de igualar su oferta para ganar cuota de mercado.

5.1.2 Situación del mercado en EEUU

Como se mencionó anteriormente, analizar el mercado de los EEUU puede dar una idea del potencial del mercado en Europa, por esto, a continuación se analiza la situación de este. En la Figura 37 se representa la cuota de mercado en Estados Unidos de cada fabricante de automóviles.

Ventas Híbridos por Compñía en Estados Unidos (Junio 2010)

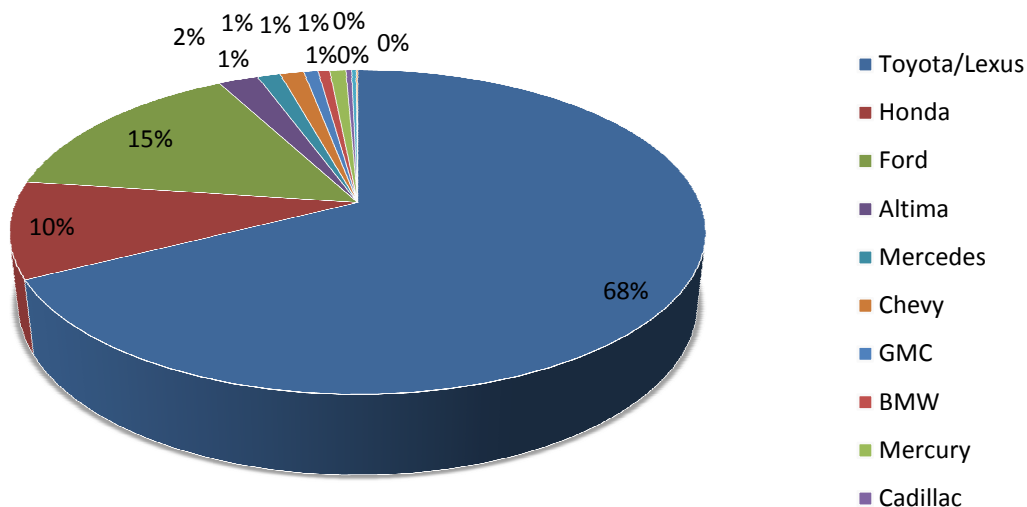


Figura 37. Cuota de Mercado de cada fabricante.
(Ver Anexo A)

Se puede observar que el mercado está ampliamente dominado por Toyota, empresa líder en este sector, innovadora y primera en comercializar un vehículo híbrido, e innovadora también en aplicar la “Joint Venture” con Panasonic en el ámbito de la industria de los vehículos eléctricos como ventaja competitiva aprovechando el “Know-How”¹⁵ de ambas firmas para el desarrollo y lanzamiento de un producto.

El modelo más vendido es el Toyota Prius, de Toyota, que copa la mayor parte de la cuota de mercado. Esto se debe a que fue el primer modelo híbrido que se comercializó, y parece que representa la madurez tecnológica en este sector (ver Figura 38).

¹⁵ Know-How se entiende como el conocimiento y/o habilidad de una determinada empresa para desempeñar una actividad o trabajar en un determinado proceso o desarrollo con una sustancial ventaja competitiva gracias a su superior nivel de preparación y experiencia en un campo determinado.

Ventas Estados Unidos Junio de 2010

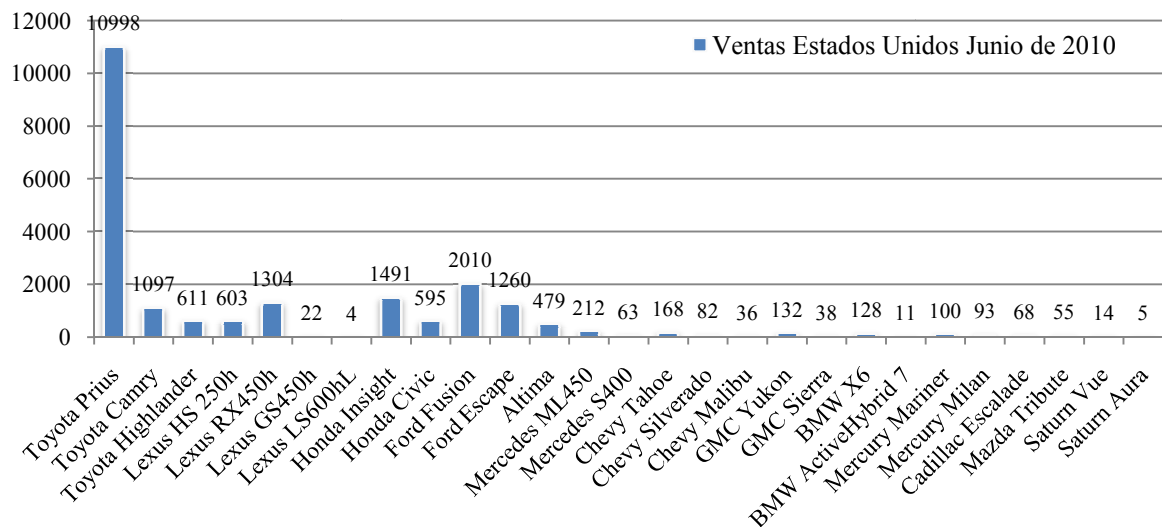


Figura 38. Ventas por modelos vehículos híbridos.
(Ver Anexo A)

5.1.3 Alianzas estratégicas

Los fabricantes de coches y de baterías, siguiendo la exitosa fórmula de Toyota y Panasonic, están formando “partnerships”¹⁶, empresas conjuntas que desarrollan y fabrican baterías específicamente para aplicaciones en vehículos eléctricos. Otra opción, es desarrollar Joint ventures estratégicas, en las que la relación proveedor cliente (fabricante de baterías, fabricante de automóviles) es muy estrecha, de con el objetivo de que la batería se desarrolle específicamente para los vehículos involucrados en el desarrollo, y existe la posibilidad de aprovechar sinergias, por la colaboración de más de una firma con cada fabricante de baterías, automóviles. A continuación se puede observar un gráfico de las que están en un nivel de desarrollo mayor y una tabla de todas las relaciones proveedor-fabricante tanto por medio de partnerships (Tabla 5) y Joint ventures (Figura 39).

¹⁶ Asociación empresarial de carácter temporal sin necesidad de una inversión común.

Tabla 5. Partnership Fabricante de automóviles/fabricante de baterías.

Fabricante	Proveedor	Partnership
Toyota	Panasonic	Panasonic EV Energy
Nissan/ Renault	NEC	Automotive Energy Supply Corporation
Bosch	Samsung	SB LiMotive

(Anderson, David: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Rocky Mountain Institute, 2008)



Figura 39. Joint Ventures Estratégicas.

(Anderson, David: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Rocky Mountain Institute, 2008)

5.2 Crecimiento y desarrollo del mercado

El desarrollo y crecimiento del mercado de baterías, va totalmente ligado al crecimiento del mercado de vehículos eléctricos como ya se mencionó anteriormente. No se puede abordar la cuestión del crecimiento y desarrollo del mercado de baterías para vehículos eléctricos sin abordar la cuestión del cambio tecnológico asociado a este desarrollo. Para ahondar en las razones del cambio y en el futuro desarrollo de mercado a continuación se analizan las diferencias entre las dos tecnologías clave en este aspecto, las baterías de iones de Litio y las baterías de níquel e hidruro metálico.

En la Figura 40 se observa la curva de experiencia para baterías de níquel e hidruro metálico y para baterías de iones de Litio, y la localización de ambas tecnologías actualmente. La primera diferencia fundamental que se aprecia en la gráfica es que las baterías de iones de Litio tienden a economías de escala más rápidamente que las de níquel e hidruro metálico.

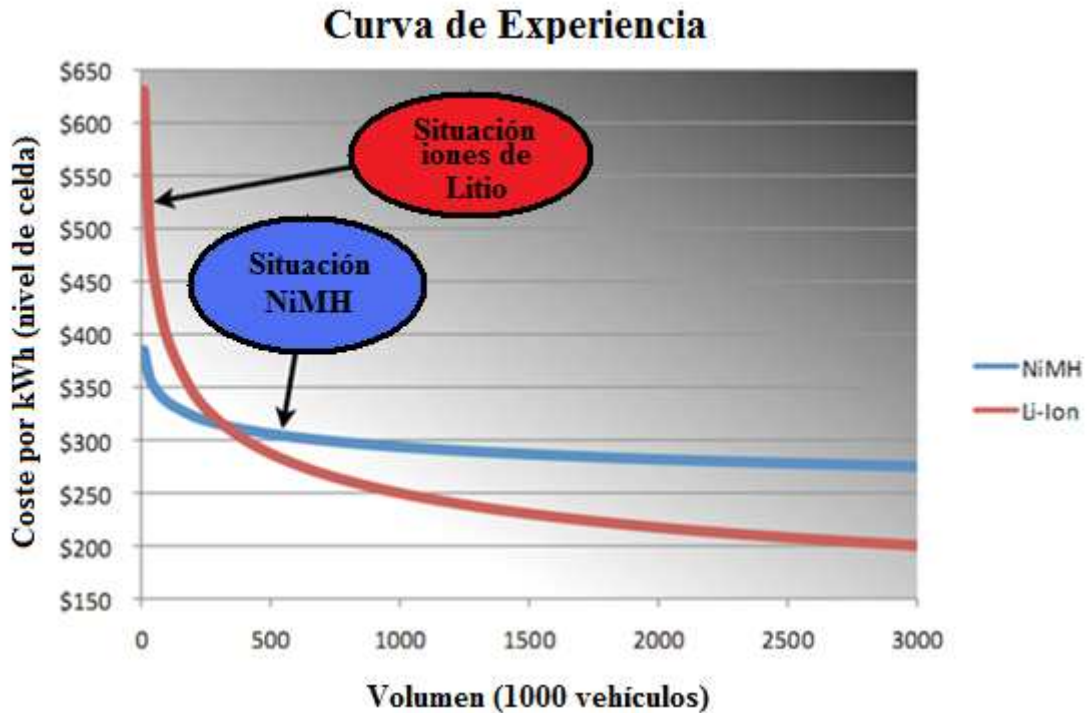


Figura 40. Curva de experiencia NiMH & Li-ion.
(Anderson, D.: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Rocky Mountain Institute, 2008)

La de níquel e hidruro metálico es una familia química de baterías que está alcanzando la madurez tecnológica. Las similitudes entre las celdas de níquel e hidruro metálico para la electrónica de consumo y las aplicaciones en híbridos han resultado en menores costes debido a las economías de escala, pero existen pocas oportunidades más para ir más allá en la reducción de costes y la mejora de especificaciones. Actualmente, es una tecnología probada, real y segura que continuará dominando el mercado de baterías para híbridos en el futuro próximo.

El consenso de la industria es que las baterías de iones de litio son el siguiente paso en el desarrollo de las baterías. Las diferencias entre la tecnología de iones de Litio para electrónica de consumo y aplicaciones para vehículos eléctricos implican numerosas oportunidades de reducción de coste a través de economías de escala. Una reducción de coste adicional vendría del aprovechamiento de los materiales, el uso de materiales low-cost mejoras en los procesos y mejoras en los rendimientos.

En la Figura 41 aparece el Cost Breakdown¹⁷ de las baterías para vehículos eléctricos (de níquel e hidruro metálico inicialmente y de iones de litio a continuación) y su evolución a largo plazo en cada una de las etapas de la cadena logística. Se puede observar que el coste de los packs de baterías de iones de Litio bajará a medida que aumente la producción, siguiendo economías de escala y gracias al efecto experiencia.

¹⁷ Desglose de costes

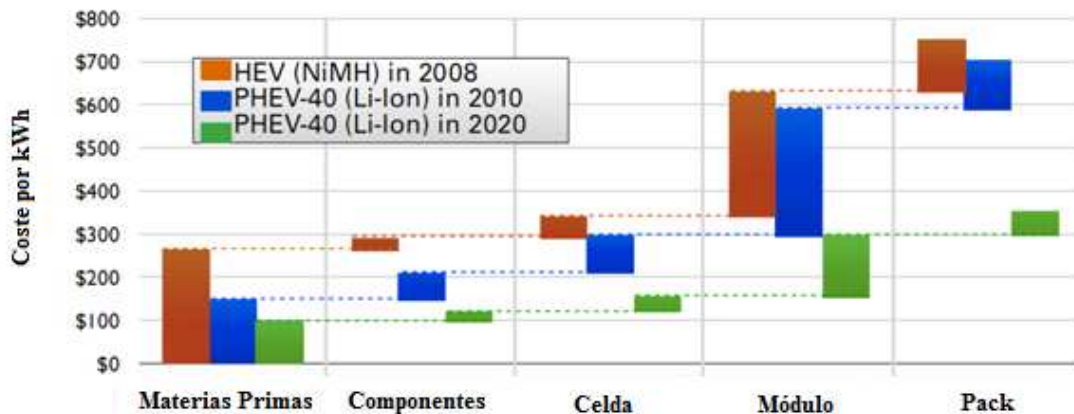


Figura 41. Cost Breakdown de battery pack.

(Anderson, David: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Rocky Mountain Institute, 2008, Merriman Curhan Ford, Deutsche Bank & RMI Analysis)

Los supuestos relativos al gráfico anterior son los siguientes:

- HEV 2008: \$23,4K precio del vehículo, \$1200 precio del pack de batería, Capacidad 1,5 kWh.
- 2010 PHEV-40: \$42K precio del vehículo, \$10k precio del pack de batería, Capacidad 15kWh.
- 2020 PHEV-40: \$35K precio del vehículo, 15 kWh capacidad.

Se puede concluir diciendo que las baterías de iones de Litio tienden más rápido a aprovechar economías de escala que las de Níquel e Hidruro metálico, por lo que teniendo en cuenta que actualmente las baterías de iones de Litio se encuentran en un nivel de desarrollo tecnológico inferior, existe un amplio margen de mejora en términos de disminución de coste. Acompañando a esta disminución de coste, vendrá una disminución en el porcentaje total del coste de las materias primas, debido principalmente a las tendencias del mercado, que como se verá más adelante, tienden a la no utilización de metales caros.

5.3 Análisis de las 5 fuerzas de Porter en la Industria de baterías para vehículos eléctricos

Con el objetivo de conocer cuáles serán las principales presiones del mercado, se desarrolla a continuación un análisis de las 5 fuerzas de Porter, para que a la hora de concluir el análisis de las alternativas de reciclado se conozcan más profundamente no solo las tendencias, si no las fuerzas o presiones del mercado.

Para la realización del siguiente apartado se ha utilizado como principal fuente de información la presentación de David Anderson, "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", en el marco de actividades realizadas por el Rocky Mountain Institute durante el verano de 2008.

En la Figura 42, aparecen representadas las 5 fuerzas de Porter, y a continuación se desglosan y analizan una a una.

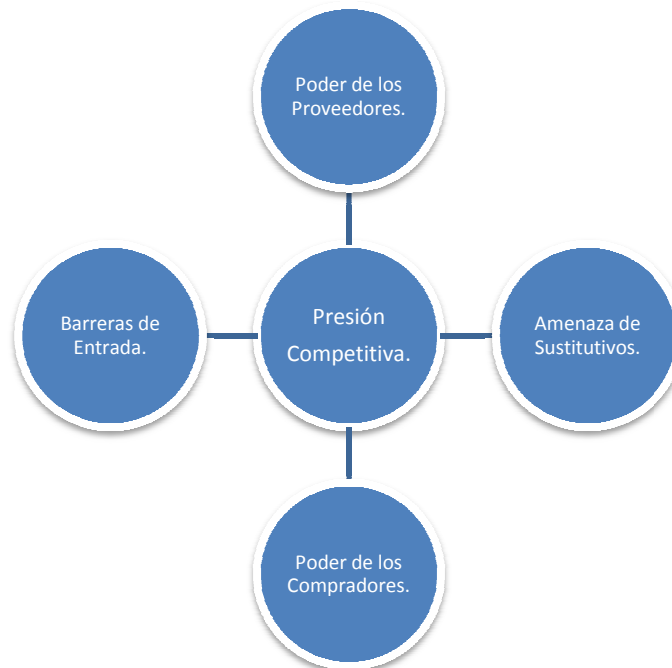


Figura 42. Fuerzas de Porter.

5.3.1 Poder de los Proveedores

Concentración de proveedores.

Hay relativamente pocos proveedores en el mercado del Litio (SQM, FMC, & Chemetall juntos tienen el 73% de la cuota de mercado). La producción de este material se encuentra geográficamente concentrada en una pequeña región de América del Sur. Otros inputs productivos (acero, plásticos y productos químicos) están menos concentrados. Muchos de los proveedores han diversificado abasteciendo numerosas industrias.

Coste relativo respecto al input total.

Para las baterías de NiMH, los costes de material suponen el 85% el coste total de la celda, apareciendo como coste principal los materiales de los electrodos. Para las baterías Li-ion, los costes de material suponen el 70% del coste total de la celda, pero solo el 20% para los materiales del electrodo.

Inputs sustitutivos.

Para una tecnología tan específica no suele haber productos sustitutivos, los fabricantes suelen estar muy ligados con a esta tecnología pero es posible la transición a una familia química diferente, aunque todo parece indicar que el Litio será la tecnología dominante.

Costes de cambio de proveedor.

Los cambios de coste de proveedor son relativamente bajos para los productos básicos, como es el caso del carbonato de Litio, que existe un grado de concentración estándar para la fabricación de baterías.

Impacto de los inputs en el Coste/Diferenciación.

Los inputs tienen un impacto relativamente bajo en la diferenciación del producto a fabricar, pero son significativos en los costes.

Grado de diferenciación de los Inputs.

La mayoría de los inputs son productos básicos, con poca diferenciación. La excepción son algunos materiales especiales vinculados a tecnologías emergentes.

Importancia del volumen.

El volumen es moderadamente importante para los proveedores, y puede incrementar esta importancia a través del aprovechamiento de economías de escala.

Gráfico representativo del poder de los Proveedores, escala de 1 a 5 (gradación de débil a fuerte).

En la Figura 43, en el diagrama de red asociado, se aprecia la gradación cualitativa otorgada por David Anderson a cada uno de los atributos analizados anteriormente. El área sombreada ayuda a hacerse una idea de la intensidad de la presión que ejercen los proveedores a la industria.

Poder de los Proveedores

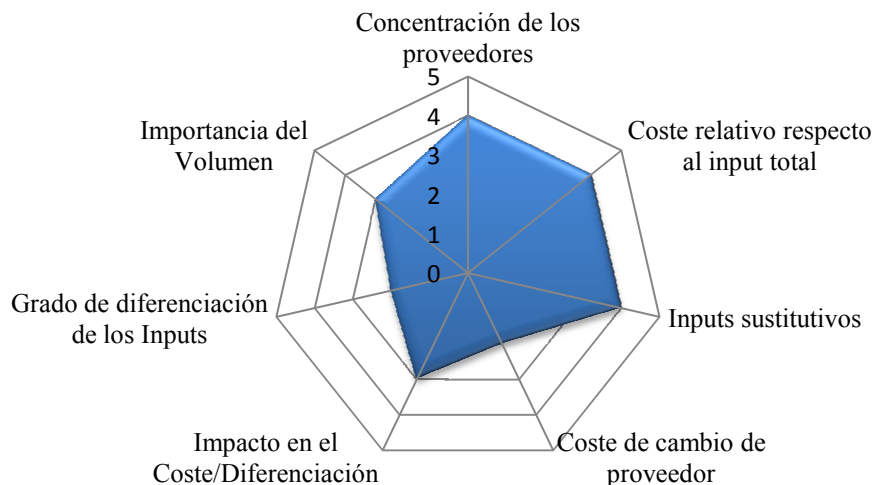


Figura 43. Poder de los Proveedores

5.3.2 Poder de los compradores

Sustitutivos Disponibles.

Una vez que el fabricante de automóviles ha culminado el proceso de desarrollo, existen relativamente pocos productos sustitutivos.

Concentración de los compradores vs Industria.

Los compradores se encuentran muy concentrados, Toyota acapara el 80% del mercado de vehículos híbridos, y Honda el 10%. Esta situación irá descendiendo de ahora en adelante, pero aún en la situación más favorable continuará siendo una situación de elevada concentración.

Amenaza de Integración hacia atrás.

Existe una amenaza significativa de integración aguas arriba, especialmente en el mercado de lo EE.UU donde los fabricantes de automóviles tienen como objetivos Joint Ventures con proveedores domésticos de baterías.

Diferenciación de Producto.

Existe cierto grado de diferenciación, pero actualmente podemos considerar esas diferencias como superfluas.

Imagen de Marca.

Actualmente, la imagen de marca de una firma en el mercado de baterías es únicamente moderadamente importante. Hay pocos competidores de gran tamaño y muchas empresas pequeñas que están entrando en la industria.

Información del comprador.

Los fabricantes de automóviles trabajan normalmente de forma muy cercana en el desarrollo de productos con la industria de las baterías y tienen acceso a información valiosa.

Volumen de compra.

El volumen no es actualmente muy importante ya que el mercado relativo de vehículos eléctricos es pequeño. No obstante, Toyota requiere un elevado volumen y el mercado completo se está anticipando a un previsible crecimiento originado por el crecimiento de la demanda.

Poder de Negociación.

Los fabricantes de automóviles tienen un poder de negociación moderado debido a que los fabricantes de baterías forman parte del crecimiento de la industria, a pesar de esto, este poder de negociación va en aumento debido a que muchos fabricantes realizan baterías que satisfacen las necesidades de los fabricantes de automóviles.

En la Figura 44, en el diagrama de red asociado, se aprecia la gradación cualitativa otorgada por David Anderson a cada uno de los atributos analizados anteriormente. El área sombreada ayuda a hacerse una idea de la intensidad de la presión que ejercen los compradores a la industria.

Poder de los Compradores

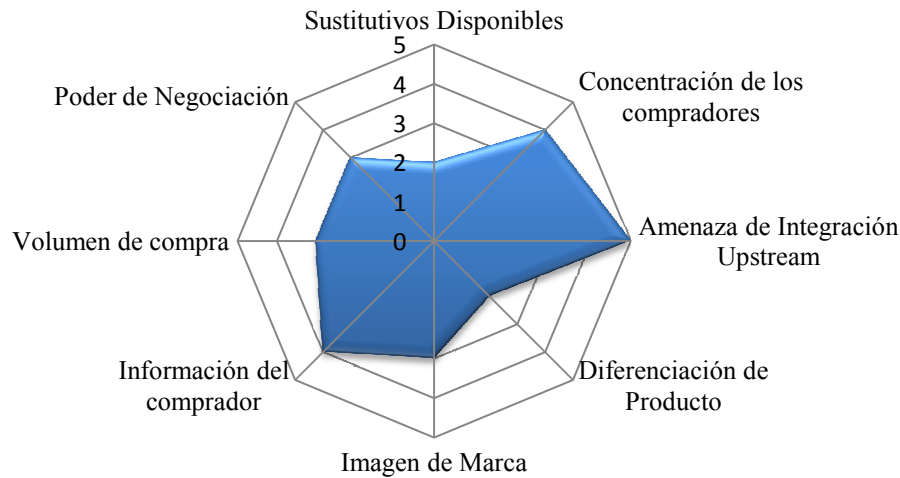


Figura 44. Poder de los Compradores

5.3.3 Barreras de Entrada

Reacciones esperadas.

Las reacciones esperadas por los integrantes actuales de la industria puede ser un factor importante, teniendo en cuenta que la industria de vehículos eléctricos se encuentra al comienzo de una fase de rápido crecimiento, con un número de competidores en aumento planeando su “estrategia de ataque”.

Especialización.

La tecnología relacionada con la fabricación de baterías se ha convertido en un segmento muy especializado, en el que cada compañía maneja un importante número de patentes estratégicas.

Costes de cambio.

Los costes de cambio son relativamente altos debido a la cooperación en el desarrollo de productos entre fabricantes de automóviles y baterías.

Acceso a la Distribución.

En lugar de poseer canales propios de distribución, los fabricantes de baterías colaboran con los de automóviles para englobar la distribución de la batería dentro de la “Supply Chain” del producto. Es difícil adquirir este tipo de contratos.

Imagen de Marca.

Todavía no se ha establecido una lealtad determinada dentro de la industria de las baterías para vehículos eléctricos, pero conforme crezca el sector la imagen de marca será más importante.

Necesidades de Capital.

Las necesidades de Capital son una barrera significativa para entrar a este mercado. Los proveedores de bienes de equipo escasean, son caros y suelen ser fieles a los fabricantes más grandes ya establecidos.

Economías de escala.

El volumen es el principal factor de coste de la industria de la batería, y será el principal mecanismo mediante el cual los costes se reduzcan a largo plazo debido a las economías de escala.

Acceso a los inputs.

Acceder a la mayoría de los inputs es razonablemente sencillo, con la excepción de algunas industrias químicas emergentes más específicas.

Curva de aprendizaje.

El desarrollo de baterías tiene asociado una curva de aprendizaje muy inclinada, ya que es una industria en la que el “know-how” tiene mucha importancia. Adicionalmente, actuar como proveedor de un fabricante de automóviles implica numerosos desafíos en términos de calidad, consistencia y garantía del producto.

En la Figura 45, en el diagrama de red asociado, se aprecia la gradación cualitativa otorgada por David Anderson a cada uno de los atributos analizados anteriormente. El área sombreada ayuda a hacerse una idea de la dificultad de entrar en el mercado para nuevas firmas.

Barreras de Entrada

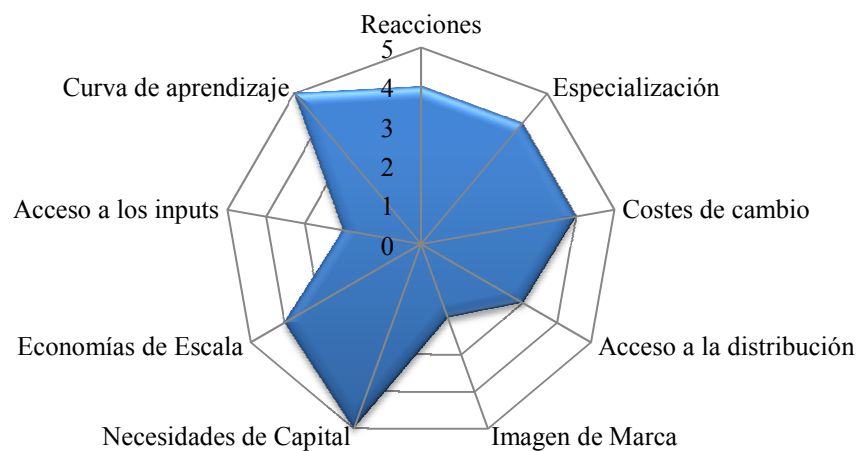


Figura 45. Barreras a la entrada.

5.3.4 Amenaza de productos sustitutivos

Alternativa de mayor rendimiento.

Dentro del contexto de alto rendimiento y alta eficiencia no existe una amenaza significativa de alternativas de mayores prestaciones para las aplicaciones de los fabricantes de automóviles. A pesar de esto, teniendo en cuenta el desarrollo continuo de la tecnología, otros sustitutivos podrían considerarse (ultra-capacitores, células de combustible, etc.), aunque más adelante se detallará que algunos de estos posibles sustitutivos son en realidad posibilidades complementarias a las baterías.

Costes de Cambio.

Desde la perspectiva del fabricante de automóviles los costes de cambio pueden ser elevados debido a los recursos asociados al desarrollo conjunto de los vehículos eléctricos, reduciéndose así la amenaza de sustitutivos. A pesar de esto los fabricantes de automóviles no prevén cambiar totalmente a la fabricación de vehículos eléctricos en detrimento de los convencionales, por lo que un mix dinámico de producción de vehículos eléctricos y automóviles convencionales podría reducir los costes de cambio. Los motores gasolina y diesel avanzados podrían ser un sustituto, pero involucraría unos elevados costes de cambio desde el punto de vista del fabricante de automóviles.

Alternativas de menor coste.

Los vehículos tradicionales con motores de combustión interna continuarán siendo la alternativa de bajo coste a corto plazo (punto de vista del automóvil).

En la Figura 46, en el diagrama de red asociado, se aprecia la gradación cualitativa otorgada por David Anderson a cada uno de los atributos analizados anteriormente. El área sombreada ayuda a hacerse una idea de la presión que ejerce sobre los integrantes de la industria la amenaza de productos sustitutivos.

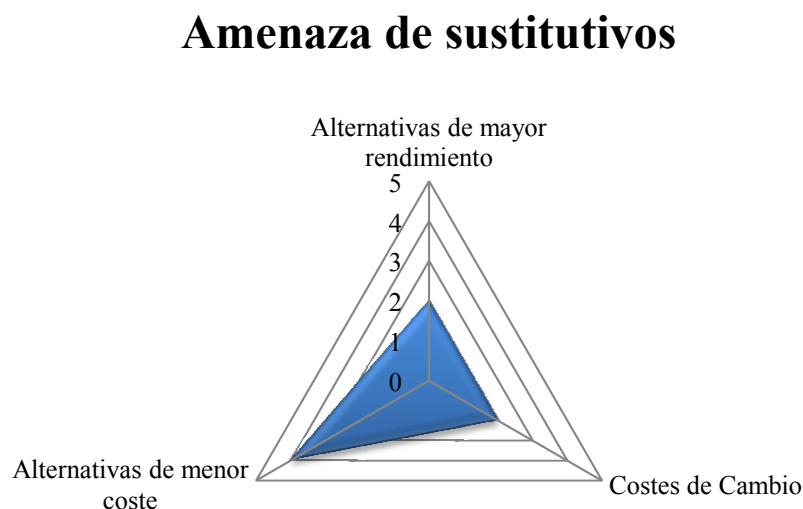


Figura 46. Amenaza de sustitutivos.

5.3.5 Presión por competir

Barreras de salida.

Las barreras de salida de la industria de baterías para vehículos eléctricos son elevadas, debido fundamentalmente a las inversiones específicas.

Variedad de los competidores.

Actualmente existe un amplio grupo de empresas que integran esta industria, desde grandes compañías hasta pequeñas empresas con ambiciosos procesos de desarrollo tecnológico.

Variabilidad del mercado.

La variabilidad del mercado es enorme, actualmente se encuentra en crecimiento, hay muchas empresas que se lanzan a competir y las variaciones son inevitables. Habrá unas pocas empresas que salgan reforzadas de esta situación como líderes y otras que desaparezcan en esta situación de incertidumbre.

Imagen de marca.

Actualmente solo es moderadamente importante. Conforme se desarrolle la industria será un factor más importante.

Costes de cambio bajos.

Desde la perspectiva del fabricante de automóviles, los costes de cambio son altos debido a los recursos dedicados al desarrollo de sistemas para vehículos eléctricos a partir de una tecnología de almacenamiento de energía específica. Esto reduce la presión competitiva.

Diferenciación de producto.

Las compañías de la industria de la batería diferencian sus productos en relación a la energía, potencia, seguridad, ciclo de vida y coste. Muchas de las diferencias son inapreciables y superfluas.

Adecuación de la Capacidad.

Previsiblemente el exceso de capacidad no será una característica en esta industria en el futuro. (Actualmente, la producción de Toyota Prius está restringida por la capacidad de fabricación de baterías).

Crecimiento de la Industria.

Se considera que la industria de los baterías para vehículos eléctricos se encuentra en el comienzo de una explosión de crecimiento.

Costes fijos/ Valor añadido.

Los costes fijos son muy elevados, debido al alto coste y a la escasez de aprovisionamiento de bienes de equipo necesarios. Esto aumentará la rivalidad a causa de la utilización de economías de escala.

Concentración de la Industria.

La industria se encuentra actualmente altamente concentrada, Panasonic tiene el 75% de la cuota de mercado, seguida por Sanyo. Esto provoca una falta de

competitividad. Esta situación cambiará cuando más competidores importantes se desarrollen en el sector.

En la Figura 47, en el diagrama de red asociado, se aprecia la gradación cualitativa otorgada por David Anderson a cada uno de los atributos analizados anteriormente. El área sombreada ayuda a hacerse una idea de la presión competitiva global de la industria.

Presión Competitiva

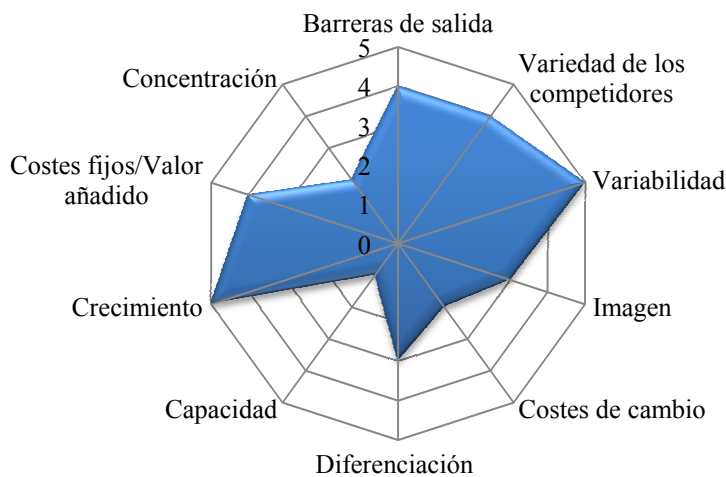


Figura 47. Presión Competitiva.

5.4 Estado del Arte

5.4.1 Objetivos USABC

La USABC (“US Advanced Battery Consortium”) [31] es una organización que se localiza en el seno de la USCAR (“US Council for Automotive Research”), una asociación formada por el grupo Chrysler, Ford y General Motors para colaborar en funciones de investigación y desarrollo.

La USABC, ha fijado una serie de objetivos en términos de prestaciones de la batería, que deben ser alcanzadas para satisfacer plenamente los requerimientos del vehículo eléctrico (ver Anexo B).

Para orientar las tendencias en el desarrollo de baterías, se ha optado por describir estos objetivos, para tener una referencia clara de la dirección evolutiva de las baterías para vehículos eléctricos.

Los atributos para los que la USABC ha fijado una serie de objetivos son los siguientes: energía, potencia, coste, tiempo de vida útil y seguridad. A continuación se profundiza en cómo se cuantifican estos atributos y en la razón de su importancia.

5.4.1.1 Energía

La función de la batería es la del almacenaje de energía, aportándola en forma de electricidad (y calor por las pérdidas) durante la descarga de la misma, por lo que establecer y caracterizar los objetivos a alcanzar en esta característica es fundamental. La energía que almacena una batería se puede cuantificar de dos formas principales: la energía específica y la densidad de energía.

La energía específica es la unidad de energía por unidad de masa (Wh/kg) y la densidad de energía es la unidad de energía por unidad de volumen (Wh/L) (ver Anexo B a para conocer los valores objetivos fijados por la USABC).

La energía se almacenada en la batería se traduce en mayor o menor autonomía en términos de prestaciones para el vehículo. Se necesita una gran cantidad de energía para proporcionar la autonomía necesaria, pero el almacenamiento está condicionado por el peso del dispositivo y las limitaciones de espacio (de ahí que los objetivos se marquen sobre la energía específica, que determina la relación energía-peso y sobre la densidad de energía, que determina la relación energía-volumen).

Esta característica es más importante para los vehículos eléctricos y para los híbridos enchufables que para los vehículos eléctricos. Esto es así porque mientras que los vehículos eléctricos e híbridos enchufables si utilizan el motor eléctrico exclusivamente (durante todo el recorrido, en el caso del vehículo eléctrico o durante parte del recorrido, en el caso del híbrido enchufable), los híbridos solo utilizan parte de la capacidad de la batería, que se utiliza como un complemento al motor de combustión interna. Por esto la autonomía no es una prestación tan determinante en los vehículos híbridos como lo es en los enchufables y eléctricos.

5.4.1.2 Potencia

La potencia asociada a una batería se traduce en par motor y aceleración en términos de prestaciones del vehículo.

Para dotar al vehículo eléctrico del impulso adecuado, se necesita una gran cantidad de potencia, magnitud que se cuantifica mediante la potencia específica (W/kg), que

mide las unidades de potencia por unidad de masa y mediante la densidad de potencia, que mide las unidades de potencia por unidad de masa. En el Anexo B aparecen las metas marcadas por la USABC para este atributo.

La densidad energética es una magnitud más crítica en vehículos híbridos que en vehículos eléctricos y enchufables. Esto es así por el menor contenido energético de las baterías en vehículos híbridos (como se comentó anteriormente, su función principal es de apoyo, operando como buffer energético), por lo que se necesita una mayor densidad energética para conferir al motor eléctrico el impulso necesario para la aceleración requerida en cada momento.

5.4.1.3 Coste

El coste es un elemento crítico en el desarrollo de cualquier producto, y por tanto lo es en el desarrollo tecnológico de las baterías. En el caso de la comercialización de vehículos totalmente eléctricos y enchufables, el coste es uno de los grandes obstáculos que se están encontrando. Por este motivo, disminuir el coste de los componentes del vehículo eléctrico es clave, y la batería no es una excepción.

El coste de almacenaje de la energía representa una importante suma dentro del coste de este tipo de vehículos, y ha de reducirse para que estos vehículos puedan competir, en términos de coste, con los vehículos tradicionales.

Normalmente se habla de coste en términos de energía (\$/kWh) y coste en términos de potencia (\$/kW), dependiendo del contexto. Es importante matizar la importancia de hacer notar en qué términos se está evaluando el coste, si a nivel de celda o a nivel de pack (con el coste de sistemas adicionales de seguridad y gestión añadidos). En el Anexo B, se puede observar el precio de venta objetivo.

5.4.1.4 Vida Útil

La vida útil se suele medir en unidades temporales (años, meses, días) o en número de ciclos de carga y descarga a lo largo de la vida útil del dispositivo.

Cuando se emplea el concepto ciclos de carga y descarga a lo largo de la vida útil, éste puede subdividirse en micro ciclos y ciclos completos.

Los vehículos híbridos actúan como “buffer energético”, por lo que necesitan un ciclo de vida útil largo en micro ciclos de carga y descarga. Los vehículos eléctricos o enchufables funcionan utilizando toda la capacidad de la batería por lo que necesitan un ciclo de vida útil largo en términos de ciclos de carga y descarga completos.

En la Figura 48, se aprecia la relación estado de carga- distancia recorrida, y el nivel de carga asociado a cada tipo de vehículo (eléctrico “EV”, enchufable “PHV” e

híbrido “HV”), y se puede apreciar las diferentes exigencias para cada modelo. Los pequeños cambios en las rectas representan los micro-ciclos, mientras que el estado de carga representa la carga total. Como se puede observar, para vehículos eléctricos es más importante los ciclos de carga y descarga completos, para los híbridos los micro ciclos, y para los enchufables es necesario una combinación de ambas exigencias.

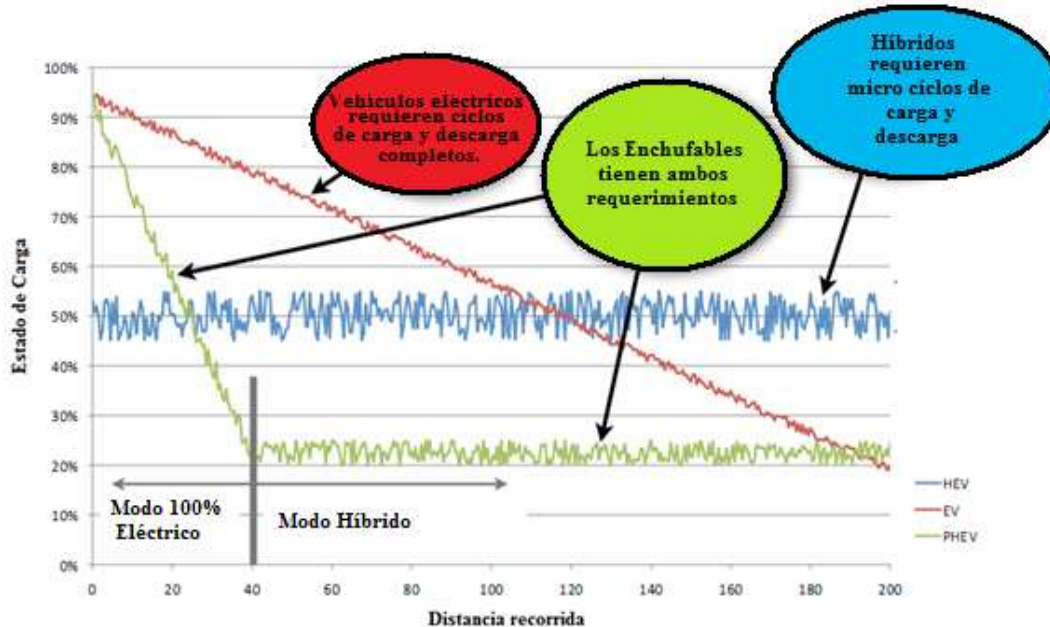


Figura 48. Estado de carga vs distancia recorrida.

(Anderson, D.: “Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries”, Slide 20, 2008)

5.4.1.4 Seguridad

El concepto de seguridad engloba diversos aspectos, como el rango de temperatura segura de funcionamiento, la disipación de calor, y la respuesta a sobrecargas, cortocircuitos, fallos mecánicos y otros posibles fallos.

Ciertamente la seguridad es un factor muy importante, ya que el fallo de la batería en un determinado momento puede conllevar consecuencias muy graves debido a que la aplicación en la que se va a utilizar es un automóvil, sometido a condiciones más exigente que cualquier producto enmarcado en la electrónica de consumo.

5.4.2 Desarrollo tecnológico

En el seno del desarrollo tecnológico de las baterías para vehículos eléctricos existen varias alternativas que difieren en las características mencionadas anteriormente, la tendencia de desarrollo depende de que se alcancen en mayor o menor medida los objetivos marcados para cada una de las características. Cada tecnología aporta

diferentes prestaciones en cada una de las cinco características, siendo la mejor para cada característica una tecnología distinta, por lo que se puede afirmar que no existe una tecnología que alcance todos los objetivos, para comprender la fase de desarrollo en la que se encuentra la batería puede ser útil el análisis del siguiente gráfico (Figura 49).

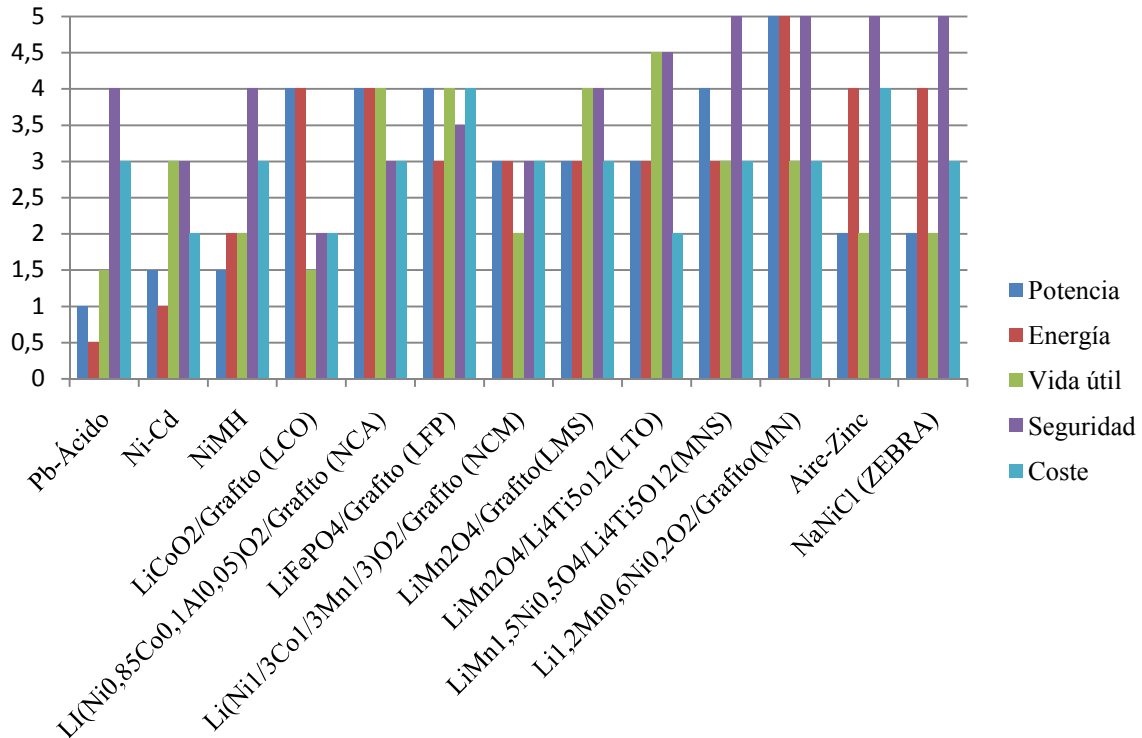


Figura 49. Tecnologías y objetivos USABC.
(Anderson, D.: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Slide 21, 2008)

La tecnología que utilizan Litio, parecen ser más prometedoras para alcanzar los objetivos que el resto de tecnologías disponibles. Para aplicaciones en automóviles, el sector está focalizando principalmente en las tecnologías hierro fosfato (LFP) y titanato (LTO).

5.4.3 Tendencias de la Industria

A continuación se analizarán las principales tendencias de la industria, que como se mencionó anteriormente, parecen ser las más prometedoras de acuerdo a lo que se aprecia en la Figura 49.

a) Fosfato de hierro-Litio (LiFePO_4 / Grafito)

Ventajas

El uso de materiales low cost disminuye el coste (\$/kWh), no utiliza Cobalto ni Titanio, materiales con un precio elevado que elevan el coste por unidad de energía de la batería.

Desde el punto de vista químico, se encuentra en un estado de oxidación estable que reduce las posibilidades de pérdidas térmicas, incrementando tanto la eficiencia de la batería como la seguridad de la misma al disminuir el calentamiento.

Una característica muy importante de este tipo de baterías es su elevada resistencia a las sobrecargas, mejorando sensiblemente la seguridad del dispositivo.

Este tipo de baterías son capaces de trabajar con elevadas eficiencias para un amplio rango de estados de carga, por lo que en aplicaciones para vehículos eléctricos y enchufables será muy interesante analizar su posible utilización.

Desventajas

El principal inconveniente que presenta esta tecnología es la baja densidad de energía en comparación con el resto de tecnologías de baterías de iones de Litio. Esto, en aplicaciones para vehículos eléctricos y enchufables es un gran hándicap, pues requiere baterías de gran tamaño para conseguir autonomías equivalentes a las de un automóvil con motor de combustión interna.

Otra de las principales áreas de mejora de este tipo de baterías es el rendimiento a bajas temperaturas, ya que entregan bajo rendimiento a temperaturas ambiente bajas.

b) Espinela Manganese (LiMn_2O_4 / Grafito)

Ventajas

El uso de materiales low cost disminuye el coste (\$/kWh), no utiliza Cobalto ni Titanio, materiales con un precio elevado que elevan el coste por unidad de energía de la batería.

Una de las principales ventajas de este tipo de batería es su carácter más respetuoso con el medioambiente. Eso se debe a que los materiales utilizados en el cátodo enlazan mejor con la idea de responsabilidad medioambiental, idea fundamental que tratan de vender las compañías que fabrican vehículos eléctricos.

Potencialmente más seguras que otras baterías de iones de Litio, debido a que nos libera oxígeno a altas temperaturas.

Desventajas

La principal desventaja de esta tecnología es la baja densidad energía, ya que implica que bajo coste por kg (\$€/kg), no tiene porque llevar ligado bajo coste por unidad de energía (\$€/kg).

Un área de mejora con grandes posibilidades es el rendimiento de esta tecnología. A temperaturas ambiente extremas (tanto calor extremo, como frío extremo) entrega un pobre rendimiento. El rendimiento de estas baterías para aplicaciones en automóviles eléctricos debe ser considerablemente alto a temperaturas extremas, pues las condiciones de operación de un automóvil son exigentes en este aspecto.

Esta tecnología carece de una vida útil larga, ya que en este aspecto es bastante limitado. Es necesario mejorar en este aspecto pues como se analizó anteriormente es importante a la hora de alcanzar las metas marcadas por la USABC como referente.

c) Titanato (LiMn_2O_4 / $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Ventajas

El aspecto positivo básico de esta tecnología es el ánodo de Titanato. Esto es así, porque el Titanato no se degrada durante los ciclos de carga y descarga, resultando en una vida útil (en términos de carga y descarga) excelente. Asociado a la capacidad de carga y descarga es remarcable también el amplio estado de carga aprovechable a buen rendimiento (prácticamente todo el espectro 0-100%).

Una de las razones para que esta tecnología entregue un buen rendimiento es que el rendimiento no cae a bajas temperaturas, sumando esta capacidad a la del amplio estado de carga aprovechable, resulta en una operatividad excelente.

La no utilización de grafito en el ánodo elimina la principal causa de pérdidas térmicas, aumentando el rendimiento del dispositivo.

Desventajas

El principal área de mejora es la densidad de energía. A causa de este inconveniente los beneficios del amplio estado de carga operativo se ven reducidos.

El principal inconveniente de difícil mejora, es el coste del material utilizado en el ánodo, el Titanio es caro y está sometido a las variaciones del mercado de metales.

d) NCA ($\text{Li}(\text{Ni}_{0.85}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{0.05})\text{O}_2$ / Grafito)

Ventajas

Esta tecnología tiene la ventaja de ser una tecnología madura y probada en otras aplicaciones por lo que se encuentra en un nivel de desarrollo superior al resto. A pesar de esta madurez tecnológica, ostenta el mayor potencial de desarrollo en aspectos como densidad de energía y potencia.

Otro punto fuerte de esta tecnología es el potencial de mejora en términos de vida útil (se estima en unos 15 años de vida, y 350.000 ciclos de carga y descarga completos).

Desventajas

La principal desventaja es la inestabilidad térmica del cátodo. Los cátodos basados en el níquel son los más inestables térmicamente de las tecnologías que utilizan Litio. Esto se traduce en mayores pérdidas térmicas y por tanto en menor rendimiento del dispositivo. El rendimiento del dispositivo también se ve afectado a altos niveles de carga, por lo que funciona en un menor rango de estado de cargas que otras tecnologías.

El coste de la batería que utilizan esta tecnología es elevado debido al uso del Níquel y el cobalto, metales con un alto coste.

5.4.4 Ultra condensadores ¿Sustitutivos o complementarios?

Los ultra condensadores o ultra capacitores son dispositivos de almacenamiento de energía al igual que las baterías. Es importante caracterizar el papel que tendrán estos dispositivos de manera conjunta con las baterías y conocer si realmente son un elemento sustitutivo o complementario a las baterías.

Lo cierto es que según el análisis de David Anderson (*“Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries”*), las baterías y los ultra condensadores serán elementos complementarios, aprovechando las principales ventajas y puntos fuertes de cada tecnología. El uso de estos dos sistemas de forma conjunta permitirá optimizar las baterías de iones de Litio en términos de capacidad de almacenamiento de alta energía, gracias a que en el sistema conjunto los ultra condensadores aportarían alta densidad de potencia para las aceleraciones por ejemplo. Esto reduciría los costes de desarrollo de la batería considerablemente.

Los ultra condensadores ofrecen una vida virtual a ciclos de vida ilimitada, protegiendo a la batería de las descargas extremas (aceleraciones), y de las cargas (freno regenerativo, almacenando la energía de frenado en forma de electricidad), extendiendo por tanto la vida operativa de la batería. Los ultra condensadores son capaces de operar en condiciones de temperatura extremas, en las que la batería pierde rendimiento.

En la Figura 50, se puede observar la diferencia de la relación energía específica/potencia específica para baterías y ultra condensadores, que confirma la posibilidad de ser utilizados como sistemas complementarios.

A pesar de esto, los ultra condensadores tienen un largo desarrollo tecnológico por delante, necesitan ser probados en este tipo de aplicaciones para confirmar la viabilidad de estos.

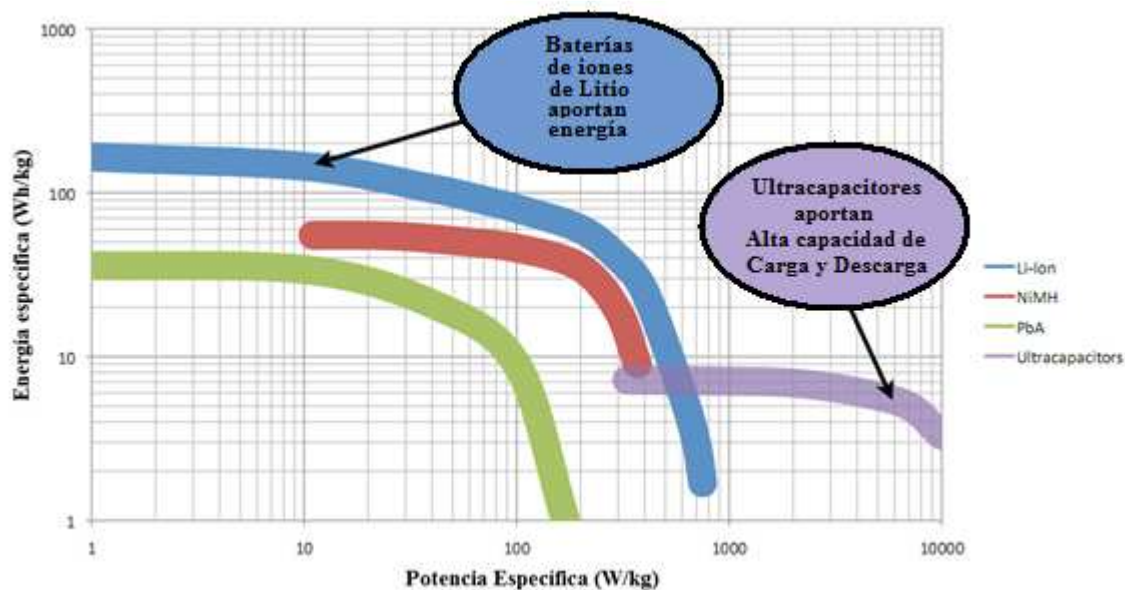


Figura 50. Energía Específica vs Potencia Específica.
(Anderson, D.: "Status and Trends in the HEV, EV, PHEV battery industries", Slide 24, 2008)

5.5 Mercado Europeo

El mercado europeo, según las previsiones del Deutsche Bank, crecerá de manera continua a largo plazo, por lo que es lógico esperar que exista la necesidad de reciclar proyectado la demanda 6 o 7 años (estimación de la duración de la batería según el Deutsche Bank) en la Figura 51, se puede apreciar la previsión de manera gráfica.

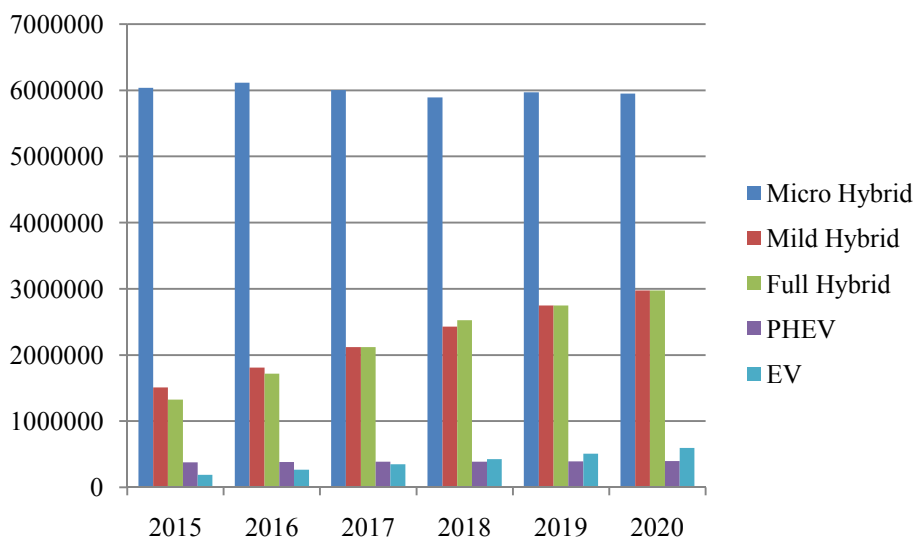
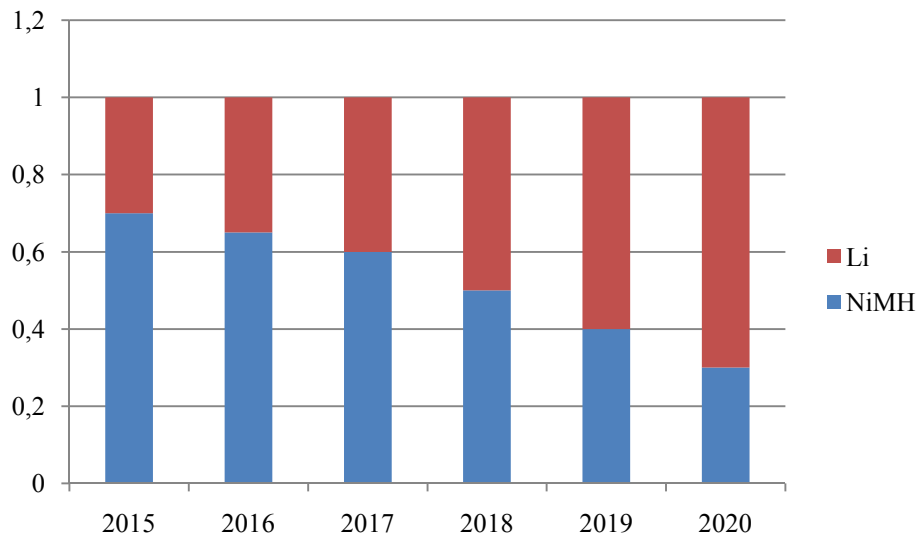


Figura 51. Evolución de la Demanda en Europa.
(Ver Anexo C)

Las baterías que se utilicen en este tipo de vehículos no serán al 100% de iones de Litio, si no que compartirán la cuota de mercado con las baterías de níquel e hidruro metálico (más utilizadas actualmente en los vehículos híbridos), en la Figura 52 se

puede ver la evolución de la cuota de mercado. En esta se aprecia cómo evolucionará el mercado, aumentando la cuota de las baterías de iones de Litio en detrimento de las de níquel e hidruro metálico. En esta variación tiene mucho que ver el incremento de la venta de vehículos 100% eléctricos sobre la venta de vehículos híbridos.



*Figura 52. Evolución de la cuota de mercado de las baterías de NiMH y Li-Ion.
(Ver Anexo C)*

Capítulo 6

Fin de Ciclo de Vida

El objetivo de este capítulo es caracterizar el contexto legislativo asociado al fin del ciclo de vida de las baterías para vehículos eléctricos y las alternativas de reciclado para este tipo de dispositivos (ya que como se verá en los apartados siguientes, es la tendencia que aconsejan las directivas).

6.1 Contexto legislativo

A continuación se procede a analizar el marco legislativo asociado al reciclado de baterías a nivel europeo con el objetivo de caracterizarlo y conocer los factores que afectan al reciclado de baterías. El marco legislativo será estudiado a nivel Europeo a través de las Directivas que estén vinculadas con el caso de estudio.

Para comenzar a desarrollar este apartado, en primer lugar es tener claro el contexto de las Directivas en sí mismo como documento legal. La Directiva es una norma jurídica de Derecho comunitario que vincula a los Estados de la Unión a la consecución de resultados u objetivos concretos en un plazo determinado, dejando, sin embargo, a las autoridades internas competentes la debida elección de la forma y los medios adecuados a tal fin.

6.1.1 Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores

6.1.1.1 Objetivo

Esta Directiva establece tanto las normas de puesta en el mercado de pilas y acumuladores (desde etiquetado hasta materiales prohibidos), como las normas específicas de recogida, tratado, reciclado y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores. La citada Directiva tiene como objetivo mejorar el rendimiento medioambiental de las pilas y acumuladores y de las actividades de todos los operadores económicos que participan en el ciclo de vida de las baterías y acumuladores: productores, distribuidores y usuarios finales; haciendo especial énfasis en aquellos operadores que participan de forma directa en el tratamiento y reciclado de sus residuos.

En palabras del texto legal comunitario, se pretende en definitiva “*armonizar las disposiciones nacionales en materia de pilas y acumuladores y de residuos de pilas y acumuladores*”¹⁸. El objetivo principal perseguido es por tanto “*reducir al máximo el impacto negativo de todos ellos sobre el medio ambiente, contribuyendo así a la protección, conservación y mejora de la calidad del entorno*” e “*impedir que los residuos de pilas y acumuladores sean desechados de manera que contaminen el medio ambiente*”¹⁹.

6.1.1.2 Baterías para vehículos eléctricos

Las baterías utilizadas en vehículos eléctricos quedan agrupadas dentro del campo de pilas industriales como se aprecia en la siguiente cita: “*«pila o acumulador industrial»: una pila o acumulador diseñado exclusivamente para uso industrial o profesional o utilizado en cualquier tipo de vehículo eléctrico*”²⁰.

6.1.1.3 Enfoque Ciclo de Vida

Es importante, de cara al análisis de un posible proceso de reciclaje y tratamiento de baterías que han alcanzado el fin de su vida útil, tener claro el enfoque medioambiental que se introduce con esta Directiva. Es objetivo prioritario mejorar la

¹⁸ Objetivos recogidos en el Considerando 1 de la Directiva 66/2006 (Anexo D)

¹⁹ Recogido en los Considerando 1 y 6 de la Directiva 66/2006.

²⁰ Extraído de la Directiva 66/2006, Artículo 3, Definición 6.

eficiencia medioambiental de cualquier proceso asociado específicamente al tratamiento de baterías usadas, y por ello esta mejora de la eficiencia debe analizarse desde el punto de vista de ciclo de vida, buscando la disminución del impacto ambiental no sólo en el proceso de tratamiento a analizar, sino a lo largo de toda la vida útil de la batería, esto es, durante el proceso de fabricación, comercialización, utilización, recogida y tratamiento de la batería.

6.1.1.4 Sistemas de recogida

El texto establece que los Estados de la Unión Europea habrán de velar por la existencia de sistemas adecuados de recogida para los residuos de baterías. Estos sistemas deberán poner a disposición del usuario final un punto de recogida accesible, en función de la densidad de población; y exigirán que los distribuidores acepten la devolución de residuos y baterías sin cargo alguno para el usuario, ni coste asociado en el precio.

6.1.1.5 Objetivos de recogida

El método que propone la Directiva se traduce en la definición de un índice de recogida para cada año en función de las ventas de baterías de los años anteriores²¹. El texto legal comunitario prevé unos índices mínimos de recogida a alcanzar en las siguientes fechas:

- a) el 25% a más tardar el 26 de septiembre de 2012;
- b) el 45% a más tardar el 26 de septiembre de 2016.

6.1.1.6 Tratamiento y reciclado

Según la Directiva, desde el pasado 26 de septiembre de 2009 los productores o terceros que intervienen en el proceso deberían haber instaurado, empleando las mejores técnicas disponibles (desde un punto de vista medioambiental y de protección de la salud), sistemas de tratamiento y reciclado de baterías.

Los requisitos mínimos fijados en la Directiva para el tratamiento y reciclado de las baterías son los que siguen:

- a) El tratamiento comprenderá, como mínimo, la extracción de todos los fluidos y ácidos.

²¹ Índices detallados año a año en el Anexo I de la Directiva 66/2006.

- b) El tratamiento y cualquier almacenamiento, incluido el almacenamiento provisional, en instalaciones de tratamiento tendrá lugar en lugares impermeabilizados y convenientemente cubiertos o en contenedores adecuados.
- c) Los procesos de reciclado deberán alcanzar el reciclado del 50% en peso, como promedio, de los residuos de baterías asociados a tecnologías asociadas a la industria de los vehículos eléctricos²².

6.1.1.7 Eliminación

Se establece la obligación para los Estados Miembros de prohibir, mediante el desarrollo de la legislación interna, la deposición en vertederos o la incineración de las baterías industriales (incluidas las baterías para vehículos eléctricos)²³. No obstante, es preciso aclarar en este punto que no hay que confundir la incineración de residuos con la utilización de la pirolisis en el proceso de reciclado y valorización, que posteriormente será objeto de un análisis más detallado.

Esta segunda práctica se encuadra en la Directiva dentro del uso de las “*mejores técnicas disponibles, en términos de protección de la salud y del medio ambiente*”, en el marco de los sistemas de tratamiento y reciclado de los residuos de pilas y acumuladores²⁴.

6.1.1.8 Financiación

El coste de la recogida, tratamiento y reciclado de las baterías para vehículos eléctricos que hayan alcanzado el final de su vida útil y de los residuos de la misma ha de ser soportado por los productores o un tercero que actúe en su nombre, y no repercutir, como ya se ha mencionado, en el usuario final.

²² En detalle en la Parte B del Anexo III de la Directiva 66/2006.

²³ Véase el artículo Directiva 66/ 2006.

²⁴ Incluyéndose por ello en lo previsto por el artículo 12.1.a) de la Directiva 66/2006.

6.1.2 Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, con las modificaciones previstas por la Directiva 2008/33/CE

6.1.2.1 Objetivos

Esta Directiva persigue la prevención de los residuos procedentes de vehículos y su adicional reutilización, reciclado y otras formas de valorización cuando se produzca el final de su vida útil o de alguno de sus componentes, nuevamente pensando en el objetivo último de protección del medio ambiente.

6.1.2.2 Definiciones

Los vehículos eléctricos se ven afectados por esta Directiva al considerarse incluidos en la siguiente definición: “«vehículo»: *todo vehículo clasificado en las categorías M1 (vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, ocho plazas sentadas como máximo) o N1 (vehículos destinados al transporte de mercancías con un peso máximo inferior a las 3,5 toneladas) definidas en la parte A del anexo II de la Directiva 70/156/CEE, así como los vehículos de motor de tres ruedas, según la definición recogida en La Directiva 92/61/CEE, pero con exclusión de los triciclos de motor*”.²⁵

6.1.2.3 Reutilización y valorización

El texto legal comunitario indica a los Estados Miembros de la Unión Europea que han de adoptarse las medidas necesarias para fomentar la reutilización de componentes reutilizables y la valorización de los componentes que no sean reutilizables, indicando también que ha de concederse prioridad al reciclado cuando ello sea viable desde el punto de vista económico y medioambiental, “*sin perjuicio de las exigencias de seguridad de los vehículos, así como de las exigencias en materia de medio ambiente, tales como las relativas a las emisiones a la atmósfera y la limitación de ruidos*”.²⁶

²⁵ Extraído del artículo 2 de la Directiva 53/2000.(Anexo E)

²⁶ Véase el artículo 7.1 de la Directiva 53/2000.

6.1.2.4 Objetivos

La Directiva establece unos porcentajes a cumplir por los Estados Miembros en un plazo determinado:

- a) Desde el 1 de enero de 2006, con respecto a todos los vehículos al final de su vida útil, la reutilización y valorización debe alcanzar un mínimo del 85% en peso medio por vehículo y año.
- b) A más tardar el 1 de enero de 2015, con respecto a todos los vehículos al final de su vida útil, se aumentará la reutilización y la valorización hasta un mínimo del 95% del peso medio por vehículo y año. Además, en este plazo, se prevé el aumento de la reutilización y reciclado hasta un mínimo del 85% del peso medio por vehículo y año.²⁷

6.2 Análisis y desarrollo del contexto legislativo

De lo expuesto anteriormente se entiende que existe una clara intención por parte de la Unión Europea a reciclar y recuperar las baterías para vehículos eléctricos, tanto por su condición de baterías como por su condición de componentes de vehículos al final de su vida útil, a fin de lograr una protección y salvaguarda del medio ambiente.

Estas directrices comunitarias han visto su reflejo en la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos y en el reciente Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos, en el marco legislativo español.

En cualquier caso, los objetivos marcados son claros y, dentro del contexto legal de la Unión Europea, no se puede concebir la producción y comercialización de baterías para vehículos eléctricos sin tener en cuenta que será necesaria la minimización del impacto ambiental a lo largo de la totalidad de su ciclo de vida, mediante las diversas técnicas de reciclaje, valorización o recuperación.

Igualmente, parece importante matizar que los objetivos fijados por las Directivas son objetivos cuantitativos en tanto en cuanto se fijan en términos de porcentajes de cantidades, y en ningún caso se habla específicamente de objetivos en las emisiones en términos absolutos y del impacto de los procesos. Únicamente se fomenta la utilización de las mejores técnicas disponibles, pero no se fijan objetivos concretos y ambiciosos que quizá podrían llevar a una mejora sustancial en este aspecto.

Como conclusión, puede destacarse el esfuerzo llevado a cabo para determinar la responsabilidad legal en caso de incumplimiento de los objetivos y prohibiciones marcadas en el marco legislativo, pero tal vez sería recomendable concretar aún más los

²⁷ Objetivos previstos en el artículo 7.2 de la Directiva 53/2000.

términos cuantitativos en la legislación y tratar de profundizar en los objetivos de la “calidad” del reciclaje.

6.2.1 Resumen Objetivos de Reciclaje

Como punto final a este apartado, conviene recopilar y sintetizar las conclusiones e información extraída de las Directivas que conciernen a las baterías para vehículos eléctricos. En el siguiente cuadro se puede observar los objetivos de reciclado impuestos por cada una de las baterías mencionadas anteriormente en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Resumen Objetivos de Reciclaje.

Nivel vehículo 2015	Nivel batería 2010
<ul style="list-style-type: none">• Reutilización + Reciclaje =85%• Reutilización + Valorización=95%• % en Peso del Vehículo	<ul style="list-style-type: none">• No depositar en vertederos/incinerar baterías industriales.• Eficiencia de Reciclaje >50%• Método de cálculo sujeto al asesoramiento de grupos de expertos.• % en Peso de la Batería

(Datos obtenidos de las Directivas 2006/66 y 2000/53)

Es importante remarcar que los objetivos de reciclado se encuentran sujetos a asesoramientos de grupos de expertos y que sería interesante regular y estandarizar los métodos de medida de la eficiencia del reciclado.

6.3 Alternativas estratégicas

A partir de este punto del análisis se abordan las alternativas de reciclado propiamente dicho, una vez comprobado a partir del contexto legislativo, que será necesario reciclar desde el punto de vista legal, y considerando los posibles beneficios en términos de disminución de las importaciones de reciclar para recuperar las materias primas de las baterías.

6.3.1 Proceso Piro metalúrgico

6.3.1.1 Introducción

Antes de analizar a fondo el proceso de tipo piro metalúrgico, definiremos la situación y objetivos de este proceso. Nace en el seno de una empresa de recuperación de metales valiosos de gran tamaño (Umicore [34]), a raíz del intenso crecimiento que ha tenido lugar durante los últimos años la venta de baterías de iones de litio y de níquel e hidruro metálico en diversos dispositivos electrónicos portátiles. En el seno de este más que evidente crecimiento, un nuevo impulso se aproxima para las baterías de iones de litio a medio plazo, acompañado de un crecimiento estable en la venta de las baterías de níquel e hidruro metálico, a causa del aumento de la comercialización de vehículos eléctricos. En este contexto, este proceso es una solución de reciclado para todas estas baterías, que al alcanzar el final de su vida útil suponen un problema pero también una oportunidad de negocio. El objetivo del proceso es la recuperación del cobalto contenido en las baterías de iones de litio e iones de litio, y el níquel contenido en las baterías de níquel e hidruro metálico, ambos con un más que estimable valor de mercado, por lo que el grado o porcentaje de recuperación de los mismos fundamenta la viabilidad económica del proceso. Teniendo en cuenta el “know-how”²⁸ de una compañía de gran tamaño en el sector metalúrgico, este proceso aparece como la mejor opción para reciclar las baterías tratando de aprovechar las sinergias posibles con otros procesos de recuperación de metales.

A continuación se tratará de examinar esquemática y analíticamente el proceso de forma que se puedan discernir más concretamente cada etapa del mismo, sus outputs e inputs.

6.3.1.2 El proceso de reciclado

Las baterías que han alcanzado el final de su vida útil (así como otra chatarra), no son pre-tratadas o pre-procesadas.

El proceso de reciclado se compone de 5 sub-procesos:

- Etapa 0: Recolección y recepción de las baterías (desde todo el mundo, en Hoboken (Bélgica) y Hofors (Suecia)).
- Etapa 1: fundido + valorización energética (en Hofors, Suecia).
- Etapas 2 y 3: refinado y purificado de metales (en Olen, Bélgica).

²⁸ Know How se entiende como el conocimiento y/o habilidad de una determinada empresa para desempeñar una actividad o trabajar en un determinado proceso o desarrollo con una sustancial ventaja competitiva gracias a su superior nivel de preparación y experiencia en un campo determinado.

- Etapa 4: oxidación del cloruro de cobalto a óxido de cobalto (en Olen, Bélgica).
- Etapa 5: producción de óxido de litio metálico para nuevas baterías (en Corea del Sur).

Etapas 1: Fundido y valorización energética

En este primer paso, las baterías con su carcasa de plástico son introducidas directamente en un horno para conseguir:

- Evaporar el electrolito (si está presente).
- Fundir todos los metales.
- Recuperar toda la capacidad calorífica de los plásticos y otros compuestos inorgánicos.
- Usar el grafito del electrodo como agente reductor en la zona de reacción del horno para reducir todos los óxidos de metales a su forma metálica.

Una gestión muy precisa de este paso resulta fundamental para mantener la seguridad y evitar grandes riesgos de fugas al aire de compuestos orgánicos volátiles (Dioxinas, Furanos,...etc.). Para cuestiones relacionadas con el control del riesgo y la seguridad del proceso, un control muy estricto de la temperatura del proceso es fundamental: las baterías son productos sellados que contienen un electrolito por lo que su presión interna puede aumentar si el tiempo no es suficiente para permitir la salida del gas formado. Si esto ocurre (el tiempo no es suficiente y aumenta la presión en demasía), los riesgos de explosión son potencialmente altos.

Por otro lado, la instalación de tratamiento de gases representa un equipo clave del proceso global por varios motivos.

En primer lugar, las baterías contienen plásticos, polímeros y otras sustancias que contienen halógenos. Cuando se exponen de manera conjunta materiales orgánicos y halógenos a altas temperaturas, se produce la recombinación de estos elementos dando lugar a Dioxinas y Furanos. Para deshacerse de las dioxinas, el método más extendido es añadir filtros eficientes en la retención de estas en las instalaciones de tratamiento de gases. En esta instalación se ha utilizado un concepto totalmente diferente: en lugar de deshacerse de las dioxinas, simplemente evitan que se formen.

Para la formación de dioxinas, se deben cumplir unas condiciones concretas: debe haber cadenas orgánicas que permanezcan intactas, halógenos y un tiempo sustancial de permanencia a una temperatura por debajo de 900 °C y por encima de los 400 °C. Para solucionar el problema una antorcha de plasma se ha añadido después del horno para incrementar los gases de salida a una temperatura por encima de los 1200° C y mantener el gas bajo condiciones reductoras. A esta temperatura, todos los enlaces orgánicos se rompen: este es el llamado *syngas (gas de síntesis)*. Debido a las condiciones reductoras, los halógenos se encuentran en su forma reducida (HBr, HCl), mucho más estable que la forma molecular (Cl₂, Br₂). Después, la temperatura del syngas es reducida instantáneamente de 1250°C a menos de 350°C, por lo que las cadenas carbonadas no tienen tiempo para re-combinarse, y por encima de todo, no se pueden unir carbonos y halógenos. De esta forma, la formación de dioxinas no tiene lugar.

Resumen Paso 1:

- Se aprovecha el valor energético de todos los plásticos presentes.
- Todos los metales son fundidos formando una aleación que es el input principal de la etapa 2.
- Un aditivo basado en el calcio es formado, conteniendo: Ca, Al y Li: este producto es usado como aditivo en la industria del cemento y del acero.
- No se forman dioxinas.
- Todos los gases metálicos que se pueden formar potencialmente son recogidos en la instalación de tratamiento de gases (Cd si hay baterías de NiCd, Zinc si hay pilas primarias,...).

Etapa 2: Refinado y tratado de metales

Esta segunda etapa, existe como proceso productivo en el seno de Umicore desde hace décadas y está certificada con las ISO 9001 y la ISO 14001 (de calidad y de gestión medioambiental respectivamente). Se trata del “*core value*”²⁹ de Umicore, es un proceso hidro- metalúrgico en el que la aleación producida en la etapa 1 (que contienen metales como Cobalto, Níquel, Cobre y Hierro) es lixiviada en ácido sulfúrico.

Después de muchas disoluciones y tras ajustarse el pH de la disolución, se puede conseguir la separación de los metales principales y se obtiene una disolución de NiSO₄ y una de CoCl₂.

La disolución de NiSO₄ es re-purificada mediante la extracción del disolvente y se produce la formación de cristales de NiSO₄. Estos cristales se pueden transformar en componentes esféricos Ni(OH)₂ para su aplicación potencial en baterías secundarias.

La disolución de CoCl₂ es también re-purificada en una nueva extracción de disolvente para producir una disolución pura de CoCl₂ que es enviada a la etapa 3.

Etapa 3 y 4: Oxidación

El CoCl₂ es oxidado en un horno dedicado exclusivamente a este propósito en un proceso desarrollado por Umicore [³⁵] bajo unas condiciones específicas. El control estricto de los parámetros del proceso permite la obtención de un óxido de cobalto de gran calidad, requerido para la obtención de un compuesto que también contiene Litio. En la etapa 4 se obtiene LiCoO₂ como producto final que es utilizado en la fabricación de nuevas baterías de Li-ion o Li-polímero como material para el cátodo.

6.3.1.2.1 Aspectos técnicos críticos

Para el desarrollo del presente apartado se han tenido en cuenta los datos técnicos incluidos en la Patente US 2005/0235775 A1.

²⁹ Se entiende por “core value” la actividad que es responsable del principal incremento de valor que aporta una empresa a un determinado producto/servicio, considerándose como la actividad fundamental de la compañía.

Preparar la carga

La fase de preparado de la carga (input global del proceso) no es una tarea carente de importancia, ya que es crítica a la hora de asegurar el buen funcionamiento del proceso y la rentabilidad económica del mismo. Entendemos por carga a la suma de los siguientes elementos:

- Hierro.
- Formadores de escoria.
- Carga útil (Baterías y componentes de baterías).

El proceso es flexible y acepta una amplia diversidad de porcentajes en peso de la composición de la carga, pero para garantizar la viabilidad del mismo será necesario que se cumplan las siguientes restricciones:

- El tanto por ciento en peso de baterías y componentes de baterías debe ser mayor o igual al 30 por ciento de la carga total.
- El resto de la carga, es responsable del potencial redox alcanzado en el horno, debiendo de tener en cuenta que el tanto por ciento en peso de hierro sobre la carga total no debe ser menor del 20 por ciento, y menor del 20 por ciento en peso del cobalto y níquel que contenga la carga útil.
- Preferiblemente sería recomendable que el porcentaje de carga útil fuese superior al 30 por ciento en peso de la carga total.

La selección de los formadores de escoria no debe ser realizada a la ligera, pues determinan el ratio final de SiCO_2/CaO , que debe ser mayor o igual que uno y, preferiblemente, mayor que uno y medio. El límite superior viene determinado por consideraciones técnicas como el punto de fusión y la viscosidad de la escoria.

El horno vertical

En el proceso, la carga es introducida en un horno vertical. En la base del horno se inyecta aire (preferiblemente enriquecido en oxígeno). El horno puede dividirse en tres zonas principales: en la parte superior la zona de precalentamiento, seguido por la zona de pirolisis de los plásticos y la base, zona reductora y de fundido de metales (para comprender el flujo de materiales ver Anexo F).

En la zona de precalentamiento, la temperatura de las baterías es incrementada poco a poco mediante el aumento de gas a contracorriente generado en la zona reductora y de fundido. En esta zona de precalentamiento, la temperatura se sitúa por debajo de los 300°C y el electrolito es evaporado. El aumento lento de la temperatura detectado por las baterías reduce el riesgo de explosión al mínimo. Esto es especialmente importante cuando el porcentaje en peso de baterías en la carga útil aumenta a un nivel del 30% o preferiblemente a un 50%. Estos altos niveles son necesarios para garantizar que las concentraciones de Co y Ni en la aleación output son suficientes para hacer el proceso económicamente viable. La suma del Co y Ni en la aleación debería alcanzar preferiblemente un 35 % en peso o superior.

En la segunda zona (la zona de pirolisis de plásticos), la temperatura aumenta a más de 700°C . Esta temperatura es suficiente para fundir los plásticos de los packs. Adicionalmente, el fundido de los plásticos genera energía que es utilizada para aumentar la temperatura del gas, antes de que los gases alcancen la zona de precalentamiento.

Finalmente en la zona de fundido, un flujo regulado de aire precalentado (pudiendo ser enriquecido con oxígeno), es inyectado mediante tuberías en la parte inferior del horno de cuba. El material metálico es transformado en escoria con contenido en Al, Si, Ca y al menos un poco de Fe, y en una aleación que contiene, además de algo de Fe residual, principalmente Cu, Co y Ni.

“Plasma Torch”³⁰

Al ser fundida la carga en el horno vertical, uno de los outputs principales son los gases formados, y el tratamiento de estos puede considerarse como crítico para garantizar la viabilidad medioambiental del proceso. Si no son tratados correctamente podrían formarse los conocidos como “COP”, compuestos orgánicos persistentes, considerados muy perjudiciales para el entorno y la salud humana. Para evitarlo se procede de la siguiente manera:

Al abandonar el horno, los gases de escape son tratados, elevando su temperatura por encima de los 1150 °C entre la salida del horno y la entrada de la cámara de post-combustión por medio de la energías suministrada a través del “plasma torch”. Este plasma, genera un incremento significativo en la entalpía del gas con un limitado incremento de su volumen. En esta etapa, los halógenos pueden ser capturados inyectado productos específicos a través del plasma torch o directamente en la cámara de combustión.

Los compuestos más convenientes para tal fin son compuestos con contenido de sodio o calcio u óxido de zinc. Tras la cámara de post-combustión, los gases son rápidamente enfriados a una temperatura por debajo de los 300°C mediante la inyección de vapor de agua. Esto evita la recombinación de compuestos orgánicos con halógenos y por lo tanto la formación de dioxinas y furanos. Esta instalación es compatible con instalaciones clásicas de tratado y purificado de gases. En la Figura 53 se puede apreciar el proceso de fundido en el horno y el posterior tratado de gases.

³⁰ Tecnología desarrollada por Scan Arc Plasma Technologies AB.

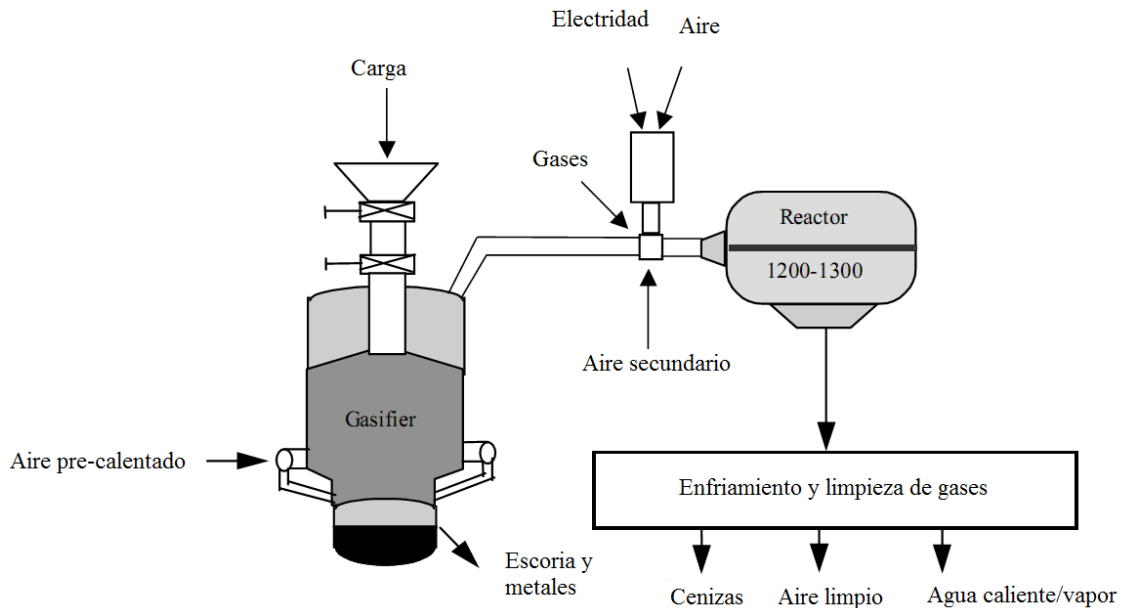


Figura 53. Esquema de Horno y limpieza de gases.
(Scan Arc Plasma Technologies AB, "Gasification and Pyrolysis Treatment of Hazardous Waste")

6.3.2 Proceso Hidro metalúrgico

6.3.2.1 El proceso de Toxco/Introducción

Toxco [36] es una empresa de origen Canadiense cuya misión corporativa es la de reciclar todo tipo de pilas y baterías y desarrolla su actividad en América del Norte (Tanto en Canadá como en EE.UU.). Actualmente, Toxco es capaz de reciclar cualquier tipo de batería, ya sea primaria o secundaria. La principal característica del proceso de reciclaje para baterías en vehículos eléctricos es que realiza uno específico para cada tipo de batería, como se describirá a continuación.

El proceso de reciclaje de Toxco aparece como respuesta a la obligación por parte de grandes marcas de automóviles como de organizaciones estatales de reciclar las baterías tanto por motivos legales como medioambientales. Por esto, es necesario comprender que el principal objetivo de Toxco no es la rentabilidad económica del proceso (aunque es evidente que cualquier organización siempre busca en mayor o menor medida esta meta), sino solventar un problema como es deshacerse de baterías de iones de litio y níquel e hidruro metálico de gran densidad energética, abarcando un amplio rango, desde baterías de vehículos híbridos a baterías de misiles tácticos de la marina de los estados unidos. El objetivo final de este proceso es la recuperación del Litio, y teniendo en cuenta el precio de mercado actual y el elevado coste de operación hace que no sea un proceso desarrollado en busca de economías de escala y gran rentabilidad. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, a continuación se describen los procesos de forma específica.

6.3.2.2 Los procesos

En la concepción del reciclaje de baterías para vehículos eléctricos que sigue Toxco, aparece una segmentación muy clara entre dos tipos de baterías: las baterías de níquel e hidruro metálico y las de iones de Litio. La causa de esta diferenciación tan clara está en la naturaleza reactiva de los materiales que componen cada tipo de baterías. Mientras que al hablar de las baterías de níquel e hidruro metálico, encontramos que los materiales de sus electrodos son relativamente estables en condiciones estándar de trabajo, en las baterías de Li-ion encontraremos la mayor dificultad en el proceso de reciclaje a causa de la gran reactividad de los materiales que la componen, pudiendo esta reactividad comprometer la seguridad del proceso.

El objetivo de Toxco no es la valorización energética de los compuestos orgánicos (plásticos de las carcasas), como vimos en el proceso descrito anteriormente, sino que busca la recuperación del material a través de una etapa de pre-procesado que no existía en el proceso anterior. Es por esto que Toxco sigue dos procesos distintos para cada tipo de baterías que serán descritos a continuación.

6.3.2.2.1 Reciclaje de baterías de NiMH

El reciclado de este tipo de baterías consta de tres etapas fundamentales:

- Etapa 0: Recolección de las baterías y recepción en las instalaciones.
- Etapa 1: Procesado y tratamiento mecánico del pack de baterías.
- Etapa 2: Horno de Retorta.

Etapas 1: Desmantelamiento

Es una etapa que se realiza de forma manual, por lo que la metodología a seguir es clave para mantener la seguridad del proceso y proteger a los trabajadores. La operación principal consiste en separar las celdas de la carcasa (ya sea de metal o de plástico).

El mayor riesgo durante esta etapa es la potencial descarga de corriente de forma accidental debido a que el pack no se encuentre totalmente descargado. (Por lo que una etapa previa de comprobación del voltaje de la batería es necesaria). Un factor que influye mucho en el nivel de voltaje de la batería es el motivo de fin de vida de esta. Si se ha realizado de forma conjunta con el vehículo que la portaba (por accidente, o avería grave de otro componente del vehículo), es probable que contenga una carga residual importante.

Un factor crítico para la correcta realización y procesado de esta etapa es la formación de los operarios. Al tratarse de una operación relativamente desconocida para instituciones formativas, es necesaria una formación específica por parte de Toxco tanto en términos de metodología a utilizar, como de seguridad.

Etapas 2: Horno de retorta

En esta etapa las celdas obtenidas del desmantelamiento realizado en la etapa 1 son introducidas en un horno de retorta. Son introducidas en el horno por medio de unos envases, no directamente. Durante los primeros instantes del calentamiento, el agua y los plásticos son evaporizados y recogidos en un depurador húmedo para su posterior tratamiento.

El material restante en el horno es una aleación de Níquel-Hierro comercializable como subproducto, utilizable como input en posteriores procesos de refinado de metales. Generalmente este subproducto es comercializado por Toxco a terceros.

6.3.2.2.2 Reciclaje de baterías de Li-ion

El reciclado de este tipo de baterías consta de tres etapas fundamentales, y se ha analizado de acuerdo a la información contenida en la Patente US 005888463 A [37].

Las tres etapas principales son las siguientes:

- Etapa 0: Recolección de las baterías, recepción en las baterías y selección del tipo Li-ion.
- Etapa 1: Criogenización.
- Etapa 2: Subdivisión.

Criogenización

El Litio, a pesar de ser normalmente muy reactivo y peligroso al separarlo de la carcasa de la batería, pasa a ser relativamente inerte después de pasar por un proceso de criogenización.

Las baterías de Litio son enfriadas por medio de un baño de Nitrógeno líquido a -325 °F para después ser trituradas de forma segura, consiguiendo la separación de todos los materiales.

Subdivisión

Tras haber sido reducido el “pack” a piezas menores de dos pulgadas, estas, son se introducen en un molino de martillos para subdividirse más. Se pulveriza agua sobre todos los materiales para ayudar a mantener el proceso frío (y mantener el Li poco reactivo). El gas resultante es recogido, lavado y filtrado antes de liberarlo a la atmósfera.

Una criba vibradora y unas rejillas son utilizadas para separar aún más los materiales, normalmente en tres categorías principales:

- Una “madeja” de Li-ion.
- Cobre-Cobalto.
- Lodo.

A continuación se tratan más en profundidad los aspectos técnicos del proceso para conocer específicamente los inputs y outputs del proceso.

6.3.2.2.1 Aspectos técnicos

Las baterías de Litio son enfriadas criogénicamente, transformadas en polvo y se las hace reaccionar en agua a fin de ajustar su PH mediante la adición de LiOH. Las sales resultantes son sustancialmente deshidratadas y opcionalmente más purificadas en una celda electrolítica, para obtener LiOH sustancialmente descontaminado válido para ser reutilizado.

Este proceso tiene como objetivo la recuperación del Litio mediante el reciclaje, concretamente recuperar el Litio contenido en baterías que han alcanzado el fin de su vida útil.

Las baterías de litio son utilizadas como una fuente segura de energía eléctrica dentro de un amplio rango de aplicaciones, habiendo sido utilizadas durante un considerable periodo de tiempo. En el fin de su vida útil, cuestiones medioambientales e incentivos económicos motivan el reciclaje y la reutilización del litio contenido en ellas.

La recuperación del litio es, a pesar de esto, problemática no solo debido a la inestabilidad y toxicidad del metal por sí mismo, sino también por la reactividad, capacidad de corrosión y la toxicidad de varios subproductos (desencadenados por el litio) y compuestos intermedios que pueden formarse durante el proceso de reciclado. Además, la potencial contaminación del litio por ciertas sustancias durante el proceso puede ser determinante de cara a la obtención final de un litio suficientemente puro, haciendo el proceso viable o no viable desde el punto de vista económico.

Con el objetivo de consumir la mayor parte de los componentes reactivos, y por lo tanto, reducir el riesgo asociado al proceso; las baterías son descargadas de su carga remanente. Alternativamente, o adicionalmente a esto un enfriamiento criogénico reduce la temperatura de la batería y por lo tanto disminuye la reactividad de varias sustancias a una pequeña fracción de su reactividad a temperatura ambiente. Este proceso permite el desmantelamiento y la trituración sean alcanzados sin riesgo de explosión u otros efectos adversos. La reacción del litio y sus compuestos con H₂O, provoca la formación de sales que son fácilmente y de forma segura retiradas y que pueden ser vendidas a usuarios de litio, incluidos por ejemplo, los fabricantes de baterías.

Al reaccionar componentes que contengan litio, que dan lugar una gran diversidad de sales, es fundamental conseguir mantener un pH alto, con el objetivo de evitar la formación de H₂S, altamente tóxico. Normalmente, esto se ha conseguido mediante la adición de NaOH a la solución, aunque la concentración de sodio debe estar estrictamente controlada (a fin de mantenerla baja) para evitar la contaminación de sodio en las lamas de litio. El sodio es especialmente difícilmente de eliminar y excesivos niveles de contaminación de esta sustancia equivale a hacer no rentable el proceso de recuperación de litio.

Diagrama de flujo del proceso

En el Anexo G, se puede apreciar el diagrama del flujo del proceso, que es descrito a continuación en detalle.

Las baterías de Litio son recolectadas y enviadas a la planta de reciclado donde las baterías son descargadas bien mediante la inmersión en disolución salina, o bien mediante el uso de resistores óhmicos. Las baterías son entonces sumergidas en un baño de nitrógeno líquido para bajar su temperatura a aproximadamente -320°F , con lo que se consigue reducir la reactividad del Litio entre 5 y 6 órdenes de magnitud en relación a su reactividad a temperatura ambiente. La masa y la configuración de la batería y los componentes de la batería determinan el tiempo necesario para alcanzar el enfriamiento adecuado. Una batería con un peso aproximado de dos libras y media puede requerir dos horas, mientras que una batería con un peso de 600 libras puede necesitar permanecer sumergida aproximadamente ocho horas, requiriendo una cantidad significativa de nitrógeno líquido suministrado durante ese tiempo.

Una vez que la batería y sus componentes son enfriados suficientemente, son sacados del baño de nitrógeno líquido y son triturados. El triturado es preferiblemente realizado mediante el uso de un molino de martillos o una desfibradora en el/la que la fuerza es aplicada mediante aplastamiento y desgarró. Las piezas resultantes tienen un tamaño homogéneo y tienen un diámetro aproximado de una pulgada. El pequeño tamaño y la homogeneidad de las piezas estabilizan la reactividad y facilita el procesado en las siguientes fases.

Las pequeñas piezas son introducidas en un tanque de reacción en el que los materiales que contienen litio reaccionan con agua. Para evitar la formación del altamente tóxico H_2S , el pH del agua de reacción es subido hasta, como mínimo un valor de 10 mediante la adición de LiOH . Usando LiOH en lugar del más accesible y con un precio sustancialmente menor NaOH , la potencial contaminación del litio es eliminada, y por tanto se conserva el valor de este.

Una gran variedad de sales de litio se forman en los tanques de reacción dependiendo de la tecnología química de la batería, están incluidas LiCl , LiCO_3 y LiSO_3 ; no siendo las únicas. La concentración de estas sales aumenta a medida que la disolución se satura hasta que las sales precipitan.

Las sales precipitadas son bombeadas periódicamente hacia un tanque de sedimentación donde son extraídas de forma periódica y son procesadas en un filtro-prensa. El output de este proceso es una disolución concentrada en sal con un contenido en humedad en torno al 28 por ciento. Con el objetivo de purificar las sales, y en particular, para eliminar los no deseados sulfuros, el concentrado obtenido anteriormente es situado en un electrolito celular híbrido conteniendo ácido sulfúrico disuelto.

Los disolventes separan los iones Li^+ de los diversos aniones, incluido el SO_3 . Los iones de Li^+ pasan a través una membrana en la que los aniones son repelidos. En el lado básico, se forma LiOH (30) se forma, el cual es utilizado para ajustar el pH en los tanques de reacción. El LiOH es posteriormente deshidratado o convertido en LiCO_3 mediante la adición de CO_2 donde el CO_2 es burbujeado a la disolución. El LiOH o el LiCO_3 son finalmente secados en un secador térmico y empaquetados para

dejarlos disponibles para enviar. El proceso provee una eficiencia de recuperación de iones de litio de aproximadamente el 97%. El Litio recuperado es útil para ser utilizado en una amplia gama de aplicaciones

6.3.3 Las Alternativas Cara a cara

Con objeto de profundizar posteriormente en las diferencias, ventajas y desventajas de una alternativa frente a otra, se procederá a realizar un cara a cara de ambas alternativas, sin tratar de analizar lo comentado, simplemente será algo descriptivo. El esquema seguido será en forma de lista y se muestra en la Figura 54.



Figura 54. Las alternativas cara a cara.

6.3.3.1 Evaluación y comparación de alternativas

Una vez conocidas las alternativas de reciclado para baterías, habiéndolas definido como piro e hidro metalúrgicas, el siguiente paso debe ir encaminado a evaluarlas, compararlas y obtener las conclusiones finales que son el objeto real de este proyecto.

Esta evaluación, al tratarse de procesos tan complejos no puede afrontarse de otra forma que no sea multi criterio, ya que mientras un proceso puede ser más conveniente por un determinado parámetro de estudio, puede ser muy malo para otro. Así, teniendo en cuenta la importancia y carácter estratégico de la decisión, y para no dejar las conclusiones en manos de la pura subjetividad del análisis personal, este proyecto se apoyará en los denominados métodos multi criterio de decisión discretos.

El objetivo es que, a través de una metodología probada para decisiones de gran importancia, dar consistencia y seguridad a las conclusiones del proyecto desde el punto de vista ingenieril. Si bien un proyecto de este tipo nunca estará libre de la subjetividad del realizador, ya que este método multi criterio esta siempre condicionado por la elección de los atributos y la gradación de los mismos.

Metodología

Como se menciona anteriormente, con el objetivo de dar consistencia a este proyecto, las conclusiones del mismo se fundamentarán en parte sobre el resultado del análisis y evaluación de alternativas a través de un método multi-criterio discreto. El método utilizado será el método de las jerarquías analíticas (AHP). Tras la obtención de los resultados, se analizarán y se procederá a la selección de la que se considerará mejor alternativa estratégica de reciclado de baterías para vehículos eléctricos.

Método de las jerarquías analíticas (AHP)

Este método fue propuesto por Tomas L. Satty (1977,1980) y se basa en la obtención de preferencias o pesos de importancia para los criterios o atributos y las alternativas. Para ello el decisor establece “juicios de valores” a través de la escala numérica de Satty (del 1 al 9) comparando por parejas tanto los criterios como las alternativas.

Para conocer en profundidad los cálculos realizados para la obtención de los resultados de este método consultar Anexo H.

Para la aplicación de este método es necesario que tanto los criterios como las alternativas se puedan estructurar de forma jerárquica. El primer nivel de jerarquía corresponde al propósito general del problema, el segundo a los criterios y el tercero a las alternativas.

El problema se plantea como objetivo la selección de la mejor alternativa como proceso de reciclaje para baterías de vehículos eléctricos y tiene dos alternativas:

- A₁: Proceso Piro-metalúrgico
- A₂: Proceso Hidro-metalúrgico
-

La selección de los criterios o atributos a comparar es algo más compleja y resulta fundamental para el desarrollo correcto del método. Por ello los atributos escogidos serán detallados a continuación justificando el por qué de su elección.

Criterios/Atributos

A continuación se enumerarán los atributos que serán la base para la toma de decisión y la justificación de la elección de los mismos. Estos criterios/atributos deben

ser tales que definan cada uno de los procesos de forma completa quedando las principales características económicas y técnicas de estos plasmadas en el análisis.

B1 Eficiencia Energética

Teniendo en cuenta la razón (ambiental) de ser de estos procesos, no sería concebible una comparación de ambos sin tener en cuenta la energía consumida en cada proceso para la recuperación del objetivo final. Por esto, la eficiencia energética es uno de las características escogidas para compararlos, de forma que se penalice al que peor aprovechamiento de la energía realice, con el objetivo de que en el futuro, esta característica evolucione favorablemente en ambas alternativas.

B2 Inversión Inicial

La necesidad de capital inicial, puede ser determinante a la hora de la elección de una alternativa u otra, aunque siempre debería ir de la mano de otras variables de tipo económico, como los costes de operación, y efectivamente, a la hora de compararlos exclusivamente como alternativas de inversión (que no es el caso, los estamos comparando también como procesos asociados al reciclaje de baterías), sería importante utilizar otros parámetros como el VAN (valor actual neto), o la TIR (tasa interna de retorno).

B3 Costes de operación

Otro aspecto económico que debe ir siempre de la mano del atributo anterior (Inversión inicial) en cualquier tipo de análisis de un proceso como alternativa, es el coste de operación del mismo. Una vez amortizada la inversión inicial, serán los costes de operación los que determinen la viabilidad del mismo y los flujos de caja. Por esto se ha incluido este parámetro, unos costes de operación demasiado elevados pueden ser una gran barrera para cualquier tipo de proceso.

B4 Robustez del proceso

La robustez del proceso ha de entenderse como la capacidad del proceso de adaptarse a reciclar nuevos tipos de baterías, y las posibilidades que existen de seguir utilizando este proceso según las futuras tendencias del mercado. Este atributo es fundamental para un proceso cuya concepción debe realizarse a largo plazo, adaptándose a la evolución del mercado.

Gradación de Atributos

Para la gradación de los atributos se ha seguido la escala numérica de Saaty, especialmente diseñada para este tipo de métodos, que relaciona una comparación cualitativa con un valor cuantitativo que varía del 1 al 9 con valores impares. En la tabla 7 se puede apreciar dicha gradación.

Tabla 7. Escala numérica de Saaty

Valor	Definición	Comentario
1	Igual Importancia	A y B tienen la misma importancia
3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
5	Importancia grande	A es más importante que B
7	Importancia muy grande	A es mucho más importante que B
9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B

(<http://www.eumed.net/tesis/2008/amr/Proceso%20de%20Analisis%20Jerarquico.htm>, Accedido en Mayo de 2010)

Gradación de los Atributos entre sí

Se ha realizado el análisis considerando los atributos igual de importancia (ver Anexo H), buscando que la comparación se produzca únicamente entre procesos.

Gradación de los Atributos entre Alternativas

En las siguientes líneas se explica y detalla los motivos de la gradación de los atributos para cada una de las alternativas frente a frente.

Eficiencia Energética

En términos de eficiencia energética, se puede considerar el proceso piro metalúrgico considerablemente mejor que el hidro metalúrgico. Esto es así porque mientras que el primero aprovecha la valorización de plásticos para realimentar el proceso, el segundo debe invertir importantes cantidades de energía para bajar la reactividad del Litio, considerablemente reactivo a temperatura ambiente. Además en el proceso piro metalúrgico existe la posibilidad de utilizar los gases a altas temperaturas output del proceso para sistemas de intercambio de calor, potencialmente aprovechables para calefacciones de distrito o sistemas similares, otorgando mayores posibilidades de aprovechamiento energético. Teniendo en cuenta esto, se puede decir que A1 tiene una gradación de 7 sobre A2.

Inversión Inicial

La inversión inicial puede ser determinante en la viabilidad económica de un determinado proyecto ya que se comporta como una barrera inicial, que en caso de ser excesivamente elevada dificulta notablemente abordar el proyecto con garantías de éxito. En este aspecto, el proyecto que presenta mayores dificultades es el piro metalúrgico, por necesitar equipos muy complejos, que probablemente sea necesario desarrollar a medida, y que como se ha podido observar en la descripción detallada que se dio de los mismos, solo se conciben para grandes volúmenes de producción, llegando a gestionar varias instalaciones dentro de un mismo proceso, y en un marco de operaciones más amplio que garantice el retorno de la inversión (no es exclusivamente una empresa de reciclaje). Por otro lado el proceso hidro metalúrgico se caracteriza por tener una inversión inicial menor a costa de tener unos costes de operación mayores (es más intensivo en mano de obra). Teniendo en cuenta esto se puede considerar que A2 tiene una gradación de 7 sobre A1, o lo que es lo mismo que A1 tiene una gradación de 1/7 sobre A2.

Costes de operación

Los costes de operación son los que de manera última determinan el coste marginal y a la postre la rentabilidad del proceso. Por esto, es fundamental que estos sean bajos, de cara a obtener un determinado beneficio económico en el proceso. En el caso del proceso piro metalúrgico, los costes de operación son pequeños al tratarse de una instalación muy automatizada que no necesita pre-procesados. En cambio, el proceso hidro metalúrgico necesita una separación y clasificación inicial de las baterías que incrementa el coste notablemente, pues se trata de operaciones intensivas en mano de obra que no añaden valor al proceso. En adición a lo anteriormente comentado, el proceso hidro metalúrgico necesita fuertes gastos de operación en la etapa de criogenización, fundamentalmente debido al elevado consumo energético. De acuerdo a todo esto, el peso de A1 es de 5 sobre A2.

Robustez del proceso

El proceso Piro metalúrgico se puede considerar muy robusto desde el punto de vista de la flexibilidad de operación y de carga. Permite mediante un único proceso reciclar baterías de níquel e hidruro metálico, baterías de iones de Litio e incluso pilas primarias, aumentando además la eficiencia de los procesos. Por otro lado, el hidro metalúrgico ofrece un proceso específico para cada tipo de batería, que puede que en el futuro resulte interesante, pero que actualmente se encuentra en desventaja frente a la posibilidad de operación del piro metalúrgico, que rentabiliza la operación a través del níquel y el cobalto. Teniendo en cuenta lo mencionado en el presente párrafo se puede afirmar que el peso de A1 frente a A2 a efectos de este análisis es de 5.

Resultado

De acuerdo a lo descrito anteriormente, en el Anexo H se desarrolla el proceso, que tiene como resultado los siguientes pesos:

$$\text{Peso de A1} = 0,666666667$$

$$\text{Peso de A2} = 0,333333333$$

Dónde:

- Peso de A1 es el resultado del método para el proceso Piro metalúrgico.
- Peso de A2 es el resultado del método para el proceso Hidro metalúrgico.

En estos pesos se ve que el peso de A1 es el doble del peso de A2, aunque esto no implica que el resultado sea exacto e unívocamente correcto. Debe tomarse con precaución el análisis, ya que como se dijo anteriormente, el objetivo es representar de forma gráfica la comparación de ambos procesos para apoyar las conclusiones.

Estos pesos dan una idea de la distancia (considerando las condiciones de mercado actuales), que separa ambas alternativas, y de forma conjunta con la previsible situación futura que se describe a continuación, deja de manifiesto que el proceso hidro metalúrgico tiene un amplio margen de mejora por delante, y se deben tomar como un punto de partida para el análisis final.

Capítulo 7

Conclusiones

El presente capítulo tiene como objetivo fijar y concretar las conclusiones del análisis, a fin de caracterizar de forma genérica todo lo descrito anteriormente, con el objetivo de analizar la situación actual, los puntos críticos y las posibles áreas de mejora asociadas a cada uno de los grandes puntos abordados en el análisis: inputs (o suministro), mercado y fin de ciclo de vida.

7.1 Inputs/Suministro

Teniendo en cuenta que se consideran como inputs críticos³¹ en el análisis los metales industriales, a continuación se exponen las conclusiones del análisis del suministro de inputs.

Metales Industriales

Los metales considerados en el análisis (Aluminio, Cobalto, Cobre y Níquel) se encuentran actualmente en una situación de mercado que puede considerarse como

³¹ Considerados así los recursos necesarios para la realización de un determinado proceso productivo (fabricación de las baterías) de mayor importancia.

repunte alcista, tras la caída de los precios a causa de la crisis económica (véase apartado 4.1).

El vínculo de estos mercados con los de las baterías para vehículos eléctricos estará condicionado por la tecnología que finalmente se desarrolle como la más exitosa, por ejemplo para metales como el Cobalto, el Cobre y el Níquel (que actualmente se utilizan en baterías de Níquel e Hidruro Metálico para vehículos eléctricos). Metales como el Aluminio o los Aceros Aleados estarán vinculados al crecimiento de este sector por su utilización en componentes constructivos de los vehículos.

El Litio

El Litio está llamado a ser uno de los inputs claves en la fabricación de baterías para vehículos eléctricos, teniendo en cuenta el previsible incremento de la cuota de mercado de las baterías de iones de Litio (véase figura 52).

Este material se utiliza en la fabricación de baterías, fundamentalmente en forma de sales de Litio, que se pueden obtener a partir de Carbonato de Litio (véase apartado 4.2.1.). El citado compuesto se obtiene principalmente a partir de la explotación de Salares, trabajando a partir de la salmuera extraída de estos.

Aproximadamente el 70% de las reservas económicamente explotables se encuentran en un área que se conoce como El triángulo del Litio (véase apartado 4.2.2.1.1). Este área geográfica está localizada entre las fronteras de Chile, Bolivia y Argentina, por lo que estos tres países son los responsables de la mayor parte de la producción mundial de Litio.

Presente

Se puede considerar el Salar de Atacama, en Chile, como el epicentro global de la producción de Litio actual, fundamentalmente por la alta concentración en Litio de la salmuera, el alto ratio de evaporización y el bajo cociente Magnesio/Litio (véase apartado 4.2.2.1.2).

Según CORFO³² (Corporación de Fomento de la Producción), las reservas totales en el Salar de Atacama son de 4,5 mega toneladas (véase apartado 4.2.2.1.2). El proceso de explotación basado en salmuera es de bajo coste y, además, actualmente se puede considerar que se está “descremado” este Salar, ya que sólo se explota una región de unos 100 km² (frente a los 3500 km² de superficie total del Salar).

Esto es así debido a que el salar no goza de una composición homogénea (véase Figura 21 y Figura 22) y actualmente se está explotando la zona de mayor concentración de Litio (dentro de los 100 km², una región de 28 km² con concentraciones entre las 3000 y las 4000 ppm).

Las reservas en esta región central de “calidad máxima” alcanzaban las 450.000 toneladas de Litio antes de que la producción comenzase en 1984, y teniendo en cuenta que se han consumido aproximadamente 100.000 toneladas de Litio desde entonces (véase página 42), las reservas remanentes en este depósito de gran calidad son aproximadamente de 350.000 toneladas de Litio.

³² Ente estatal Chileno cuya función es el desarrollo y fomento de la industria de Chile.

Largo Plazo

En términos de producción futura, el Salar de Uyuni está llamado a jugar un papel importante en el suministro del Litio, ya que se estima que contiene el 40% de Litio contenido en salmuera a nivel global (véase apartado 4.4.4.1.4), aunque presenta una serie de desafíos tecnológicos y políticos a superar (véase apartado 4.2.2.1.4). A continuación se enumeran los factores políticos técnicos:

- Concentración de Litio en el epicentro de explotación de 2000 ppm frente a la de 3000-4000 ppm en Atacama.
- Menos profundidad de explotación que Salar de Atacama, lo que implica instalaciones más extensivas en superficie (véase Figura 24).
- Alto ratio Magnesio/Litio que dificulta la precipitación de cloruro de Litio.
- Ratio de evaporización menos de la mitad del ratio en Atacama, por lo que baja la capacidad de producción potencial.

Otro aspecto clave es la intención del gobierno de Bolivia de mantener el control de la explotación, que además actualmente trata de desarrollar por cuenta propia. Probablemente será necesaria una mayor colaboración con el sector privado para desarrollar la futura instalación.

Demanda versus Producción

En base a las estimaciones realizadas por TRU Group (véase apartado 4.2.3.3), y a la confirmación de las tendencias por estos planteadas (los últimos datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS, en 2008 se produjeron unas 25.400 toneladas de Litio, cifra que descendió en 2009 a unas 18.000 toneladas), se puede afirmar que no habrá problemas de suministro a largo plazo (desde hoy hasta el 2020). Aunque en torno a 2018 será necesario que se desarrollen alternativas técnica y económicamente factibles de explotación (como el salar de Uyuni).

Margen de Desarrollo

Como dato adicional, se puede añadir el siguiente Balance. Considerando una situación hipotética en la que toda la demanda mundial se abasteciese desde el origen de suministro de mayor calidad del mundo (Salar de Atacama, descrito anteriormente), y considerando toda la demanda prevista acumulada de Litio “químico” (unas 270.000 toneladas hasta el año 2020, ver figura 30), habría Litio suficiente según las estimaciones de CORFO (ver Figura 55).

Esto, a pesar de ser una situación extraordinariamente difícil de alcanzar (sería la peor situación imaginable), hace ver que a pesar de que el Salar de Uyuni tiene una serie de retos tecnológicos por delante, hay margen temporal para superarlos, por lo que el suministro parece que no será un inconveniente a muy largo plazo.

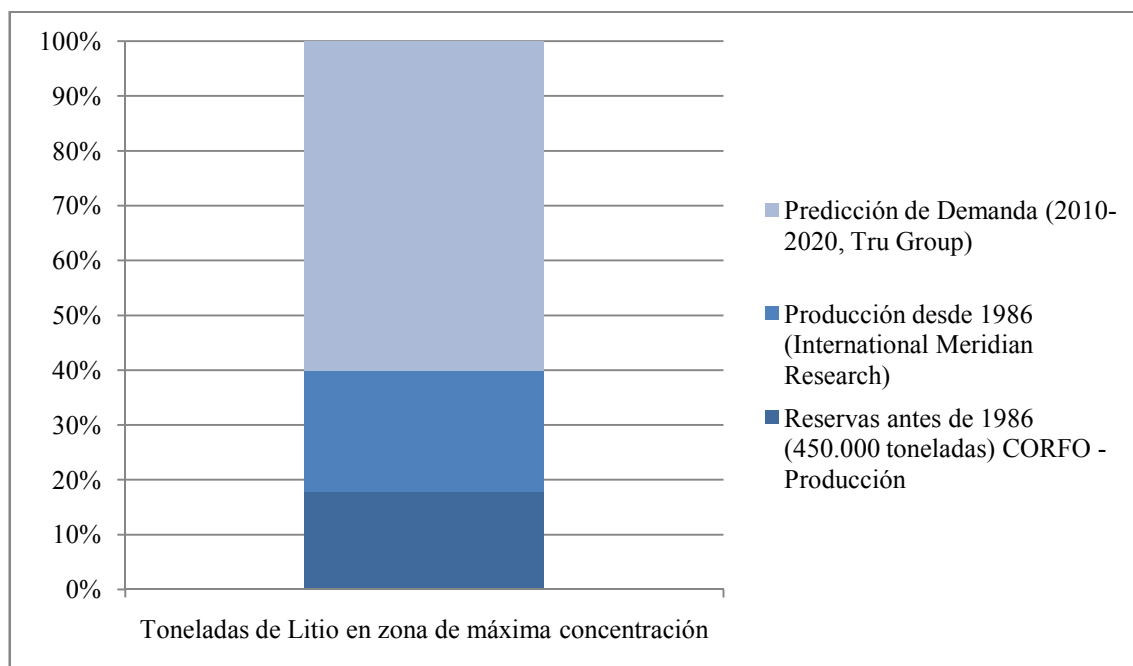


Figura 55. Supuesto más desfavorable

Carácter estratégico del suministro

De acuerdo a lo desarrollado en el apartado 4.2.3.3, la situación estratégica del suministro es la siguiente:

Corto plazo (2-3 años): la capacidad de producción se encontrará por encima de la demanda potencial (véase Figura 32), como confirman los datos de 2009, año en el que según la USGS la demanda se vio disminuida respecto a la de 2008 a causa de la crisis global.

Medio plazo (6-7 años): la capacidad de suministro se encontrará en equilibrio con la demanda (véase Figura 32), considerando la aportación del Salar del Rincón en Argentina.

Largo plazo (10-11 años): será necesario el desarrollo de nuevas fuentes económicamente viables (véase Figura 32). La explotación del Salar de Uyuni probablemente jugará un papel importante aunque los costes de explotación subirán necesariamente ya que actualmente se está explotando lo más rentable.

Más allá de este horizonte de planificación, probablemente será necesario extraer Litio en zonas de los Salares no explotadas actualmente o nuevos Salares con menor concentración. Esto probablemente haga aumentar el precio del Litio en el mercado, aunque es probable que nuevas técnicas se desarrollen que amortigüen parcialmente el encarecimiento de la obtención del Litio.

A pesar de que no habrá problemas de suministro a largo plazo, lo que es indudable es el carácter estratégico que adquirirá el Litio con el auge del vehículo eléctrico. Por esto, teniendo en cuenta el origen del suministro (véase Figura 33), Europa debe considerar alternativas para rebajar la dependencia de las importaciones.

En este sentido, es importante la investigación llevada a cabo en el Argonne National Laboratory, con la colaboración del Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Universidad de Chicago. Este apunta al reciclado de las baterías como una gran posibilidad para reducir las necesidades de importación netas de Litio.

7.2 Mercado

Situación de mercado

El mercado mundial de vehículos eléctricos, entendidos como tal los vehículos eléctricos 100%, los híbridos y los híbridos enchufables se caracteriza por el mayor nivel de desarrollo tecnológico y comercial de los vehículos híbridos frente a las otras dos categorías mencionadas. A nivel mundial, el mercado de los Estados Unidos puede considerarse un referente, por ser el que mueve mayor número de vehículos (véase Figura 34) y el que tiene mayor aceptación por los usuarios.

Este mercado de vehículos híbridos, que se puede considerar una referencia de la aceptación de los usuarios del vehículo eléctrico, se encuentra actualmente dominado por Toyota (apartado 5.1.2) y está marcado por las alianzas estratégicas entre fabricantes de automóviles y fabricantes de baterías (apartado 5.1.3), situación que favorecerá la transferencia de conocimiento para el desarrollo de los dispositivos necesarios.

Tendencias

Aunque actualmente las baterías de níquel e hidruro metálico se encuentran en un nivel de desarrollo tecnológico superior (véase apartado 5.2) gracias a su utilización en vehículos híbridos, la tendencia del mercado va encaminada hacia las baterías de iones de Litio (véase apartado 5.4.3). Estrechamente relacionado con esto, parece ser que una de las premisas de las tecnologías que se desarrollan como potencialmente dominantes del mercado, es la de no utilizar materiales de alto precio de mercado, como el Níquel y el Cobalto utilizados anteriormente.

Fuerzas de Mercado

Una de las principales fuerzas de mercado es el poder de los proveedores, ya que se encuentran muy concentrados (el Litio se produce principalmente en Sur América y China, véase apartado 4.2.2) y no son muy numerosos (véase apartado 5.3.1 y apartado 4.2.2.3), por lo que el poder de negociación de éstos es importante. Por esta razón el reciclado con el objetivo de recuperar Litio puede ser una buena alternativa de mercado para los fabricantes de baterías.

La presión competitiva en este mercado es importante, de forma que puede ser fundamental la firma de acuerdos estratégicos con fabricantes de automóviles para hacer posible el desarrollo tecnológico necesario (véase apartado 5.3.5).

Estado del Arte

Las tendencias de desarrollo tecnológico están marcadas por las metas a alcanzar por parte de las baterías en términos de prestaciones, que se pueden identificar claramente a través de los objetivos planteados por la USABC (véase apartado 5.4).

Estos objetivos buscan unas determinadas prestaciones en aspectos como densidad energética, densidad de potencia, coste, vida útil y seguridad.

Dentro del espectro tecnológico de baterías actual, ninguna de las alternativas parece cumplir al 100% estos objetivos (véase Figura 49), pero algunas de estas opciones parecen centrar el interés de la investigación y el desarrollo actual. Estas tecnologías son: Fosfato de Hierro-Litio, Espinela Manganeseo, Titanato y NCA (véase apartado 5.4.3). De las alternativas mencionadas anteriormente, todas contienen Litio en el ánodo, y únicamente una lo inserta también en el cátodo (mientras que el resto utiliza grafito). Esta última es la única que contiene un metal de elevado coste como es el Titanio, por lo que parece que se aprecia una tendencia a dejar de utilizar materiales de elevado coste.

Mercado Europeo

Las previsiones de la demanda (véase apartado 5.5) apuntan a un incremento de las ventas de vehículos eléctricos, tanto híbridos, híbridos enchufables, como 100% eléctricos, por lo que proyectando esta demanda hasta el fin de su vida útil aparecerán necesidades importantes de reciclado de baterías a largo plazo.

Otro dato de interés, es la evolución de la cuota de mercado de las baterías de iones de Litio respecto a las de Níquel e Hidruro metálico, que evolucionará a largo plazo hasta ser la tecnología dominante en el mercado (véase Figura 42), por lo que parece interesante que los procesos de reciclado a largo plazo sean diseñados específicamente para este tipo de baterías.

7.3 Fin de Ciclo de Vida

Contexto Legislativo

El fin de ciclo de vida de los vehículos eléctricos se puede vincular a dos Directivas. La Directiva 2006/66/CE relativa a pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2000/53/CE relativa a vehículos al final de su vida útil, con las modificaciones previstas por la Directiva 2008/33/CE.

Lo más remarcable de la primera mencionada (2006/66/CE), es el enfoque del ciclo de vida que se busca, con el objetivo de disminuir el impacto ambiental a lo largo de todo el periodo de utilización del dispositivo (véase apartado 6.1.1.3).

Considerando el aspecto logístico del reciclado (véase apartado 6.1.1.4), es necesario desarrollar sistemas seguros de traslado de baterías si como se indicó anteriormente la de iones de Litio termina siendo la tecnología dominante (véase apartado 5.5), debido a la elevada reactividad este tipo de baterías, de forma que no se comprometa la seguridad del transporte [38]. Los objetivos de recogida son del 45% de las ventas para el año 2016 (véase apartado 6.1.1.5)

Se han marcado como objetivo a alcanzar en el año 2010 una eficiencia del 50% en peso para baterías de vehículos eléctricos (véase apartado 1.1.6).

El documento legal comunitario a nivel de vehículo al final de vida (Directiva 2000/53/CE) ha marcado como objetivo a alcanzar en el año 2015 un 85% en peso en términos del vehículo completo (véase apartado 6.2.1).

Es necesario desarrollar un método estándar que determine la eficiencia de los procesos, para que no dé lugar a la libre interpretación y elaboración de las mismas. En cualquier caso, es evidente de que existirá la necesidad de reciclar las baterías para vehículos eléctricos en términos legales.

Alternativas de Reciclado

La preferencia de un método de reciclado u otro de los tratados en el presente documento depende de la situación de mercado. La principal diferencia de ambos modelos es el objetivo de los mismos: mientras el piro metalúrgico tiene como objetivo recuperar metales valiosos (como el cobalto y el níquel, véase apartado 6.3.1.1), el hidro metalúrgico tiene como objetivo recuperar Litio.

Presente

Actualmente, la situación de mercado es clara: se venden más vehículos híbridos que eléctricos (véase apartado 5.1); existe por tanto una mayor necesidad de reciclar baterías de Níquel e hidruro metálico. Por esta razón el proceso piro metalúrgico tiene ventaja sobre el anterior, pues está preparado para reciclar tanto baterías de iones de Litio como de Níquel e Hidruro metálico de forma conjunta, aprovechando las economías de escala y rentabilizando el proceso a partir del Cobalto y el Níquel obtenido (véase apartado 6.3.1.1), pues el precio de mercado de estos metales es alto (véanse apartados 4.1.3 y 4.1.5).

A pesar de esto, las tendencias del mercado apuntan hacia la evolución del mismo y el aumento de la cuota de mercado de baterías de iones de Litio en el mercado de los vehículos eléctricos (véase apartado 5.5).

Teniendo en cuenta el origen del suministro, principalmente “El triángulo del Litio” (véase apartado 4.2.2), y el posible aumento del precio del Litio a muy largo plazo (más allá del año 2020) por la necesidad de explotar nuevos Salares con condiciones más desfavorables de explotación que los actuales (véase apartado 4.2.2.3), se hace necesario desarrollar un proceso eficiente que recupere Litio.

Futuro

Actualmente existe una distancia ostensiblemente notable entre el proceso Piro metalúrgico y el Hidro metalúrgico a favor del primero, como puede apreciarse gráficamente en el apartado 6.3.3.1. Teniendo en cuenta, como se ha mencionado anteriormente que lo interesante es desarrollar un proceso eficiente que recupere Litio se puede decir que sus principales desafíos son:

El aumento de la eficiencia energética ya que actualmente es necesario sumergir las baterías en un baño de Nitrógeno Líquido y por ejemplo, una batería con un peso de 11,5 kg necesita estar dos horas sumergida (véase apartado 6.3.2.2.1) para bajar su reactividad hasta que pueda ser tratada.

La seguridad es un área que necesita ser profundizada ya que debido a la alta reactividad del Litio ésta se puede ver comprometida [39], por lo que es necesario

investigar alternativas para crear atmosferas seguras de almacenamiento, pues una elevada cantidad de baterías almacenadas puede suponer un peligro potencial.

La rentabilidad del proceso que en términos de costes de operación e ingresos dependerá en cierta medida de la evolución del mercado y del precio del Litio. A muy largo plazo será interesante económicamente recuperar Litio y de no ser así, puede que a nivel estratégico a los gobiernos Europeos les interese subvencionar el desarrollo para garantizar un suministro que puede convertirse en estratégico, de igual forma que lo ha hecho el Departamento de Energía de los Estados Unidos [40].

Glosario

COMIBOL	<i>Corporación Minera de Bolivia</i>
CORFO	<i>Corporación de Fomento de la Producción</i>
LME	<i>London Metal Exchange</i>
NDRC	<i>National Development and Reform Commission</i>
SQM	<i>Sociedad Química y Minera de Chile</i>
USABC	<i>United States Advanced Battery Consortium</i>
USCAR	<i>United States Council for Automotive Research</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

Bibliografía

Por orden de aparición en el texto:

1. <http://cienciaeconomica.blogspot.com/2009/06/la-variable-indo-asiatica-el-petroleo.html>, Accedido en Mayo de 2010.
2. http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_es.htm, Accedido en Mayo 2010.
3. www.sostenibilidad-es.org, Accedido en Mayo 2010.
4. www.sostenibilidades.org/.../22CONSUMODEENERGIAFINALPORSECTORE S.pdf, Accedido en Abril de 2010.
5. www.navarrainnova.com/.../oportunidades-coche-electrico-produccion-y-uso.pdf, Accedido en Julio 2010.
6. <http://www.darbajacoches.com/blog/wp-content/uploads/2009/11/coche-electrico1.jpg>, Accedido en Julio 2010.
7. <http://www.wired.com/autopia/2009/05/better-place/>, Accedido en Julio 2010.
8. <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/id.407>, Accedido en Junio 2010.

-
9. <http://www.eve.es/web/Eficiencia-Energetica/Transporte/El-coche-electrico/Componentes-principales-de-un-vehiculo-electrico.aspx>, Accedido en Junio 2008.
 10. <http://www.mecanicavirtual.org/hibridos-prius.htm>, Accedido en Julio 2008.
 11. <http://www.km77.com/00/toyota/proto/prius-phv/2010/bateria.asp>, Accedido en Junio 2010.
 12. http://www.km77.com/00/tesla/roadster/2010/deportivo_electrico.asp, Accedido en Junio de 2010.
 13. <http://www.km77.com/00/toyota/proto/prius-phv/2010/bateria.asp>, Accedido en Junio 2010.
 14. **Anderson, D.**: ‘Status and trends in the HEV/PHEV/EV battery industry’, Rocky Mountain Institute, 2008.
 15. **Deutsche Bank**: ‘Electric Cars: Plugged In’, 9 de Junio de 2008.
 16. <http://www.eutimia.com/psicofarmacos/anticiclicos/litio.htm>, Accedido en Julio 2010.
 17. http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Lithium_citrate, Accedido en Junio 2010.
 18. **Deutsche Bank**: ‘Electric Cars: Plugged In’, página 25, 9 de Junio de 2008.
 19. <http://www.cnnexpansion.com/economia/2010/04/01/los-metales-a-la-alza>, Accedido en Abril de 2010.
 20. <http://www.evworld.com/article.cfm?storyid=1466>, Accedido en Mayo de 2010.
 21. http://www.lme.com/aluminium_graphs.asp, Accedido en Julio de 2010.
 22. http://www.lme.com/copper_graphs.asp, Accedido en Junio de 2010.
 23. http://www.lme.com/nickel_graphs.asp, Accedido en Julio de 2010.
 24. **Meridian International Research**, “The problema with Lihium 2 under the microscope”, 29 de Mayo de 2008.
 25. **Kogel JE**: “Industrial Minerals and Rocks”, Blackwell, 2006.
 26. <http://uyuni-turism.com/uyuni/imagenes/lagunas>, Acceso 4 de Julio de 2010.
 27. **Evans, RK**: “Lithium Reserves and Resources”, Energy, Vol. 3, No. 3, 1978.

-
28. **Anderson, ER**: “Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the face of Sustainable Market Growth”, TRU Group, 18 de Noviembre de 2009.
29. <http://action.pluginamerica.org/.../World-Lithium-Resource-Impact-on-Electric-Vehicles-v1.pdf>, Visitado en Junio 2008.
30. <http://www.hybridcars.com/hybrid-sales-dashboard/december-2009-dashboard.html>, Accedido en Julio de 2010.
31. http://www.uscar.org/guest/view_team.php?teams_id=12, Accedido en Marzo 2009.
32. **Directiva 2006/66/EC** relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores.
33. **Directiva 2000/53/CE** relativa a los vehículos al final de su vida útil.
34. <http://www.batteryrecycling.unicore.com/>, Accedido en Mayo de 2010.
35. **Daniel Cheret, Sven Santen**, “Battery Recycling”, Patent Number: US 0235775 A1, Apr.18 2005.
36. <http://www.toxco.com/>, Accedido en Abril de 2010.
37. **William McLaughlin, Terry S. Adams**, “Li Reclamation process”, **Toxco**, Patent Number: US 005888463 A, Jan.2 1998.
38. <http://www.youtube.com/watch?v=dfQwYKqmfk4>, Accedido en Abril 2010.
39. <http://www.trailtimes.ca/article/20091110/TRAIL0101/311109989/-1/TRAIL/lithium-explodes-at-toxco>, Accedido en Junio 2008.
40. <http://www.technologyreview.com/energy/23215/>, Accedido en Junio de 2010.

Anexos

Anexo A. Venta Híbridos Mercado EE.UU Junio 2010

Toyota/Lexus	Toyota Prius	10998	14639	Toyota/Lexus
	Toyota Camry	1097		
	Toyota Highlander	611		
	Lexus HS 250h	603		
	Lexus RX450h	1304		
	Lexus GS450h	22		
	Lexus LS600hL	4		
Honda	Honda Insight	1491	2086	Honda
	Honda Civic	595		
Ford	Ford Fusion	2010	3270	Ford
	Ford Escape	1260		
Altima	Altima	479	479	Altima
Mercedes	Mercedes ML450	212	275	Mercedes
	Mercedes S400	63		
Chevy	Chevy Tahoe	168	286	Chevy
	Chevy Silverado	82		
	Chevy Malibu	36		

GMC	GMC Yukon	132	170	GMC
	GMC Sierra	38		
BMW	BMW X6	128	139	BMW
	BMW ActiveHybrid 7	11		
Mercury	Mercury Mariner	100	193	Mercury
	Mercury Milan	93		
Cadillac	Cadillac Escalade	68	68	Cadillac
Mazda	Mazda Tribute	55	55	Mazda
Saturn	Saturn Vue	14	19	Saturn
	Saturn Aura	5		
Total Híbridos	Todos los híbridos	21679		
Total vehículos	Todos los vehículos	983738		

**Unidades vendidas*

Fuente: <http://www.hybridcars.com/hybrid-clean-diesel-sales-dashboard/june-2010.html>, Visitado en Julio de 2010.

Anexo B. Objetivos USABC

Parameter(Units) of fully burdened system	Minimum Goals for Long Term Commercialization	Long Term Goal
Power Density(W/L)	460	600
Specific Power – Discharge, 80% DOD/30 sec(W/kg)	300	400
Specific Power - Regen, 20% DOD/10 secW/kg	150	200
Energy Density - C/3 Discharge Rate(Wh/L)	230	300
Specific Energy - C/3 Discharge Rate(Wh/kg)	150	200
Specific Power/Specific Energy Ratio	2:1	2:1
Total Pack Size(kWh)	40	40
Life(Years)	10	10
Cycle Life - 80% DOD (Cycles)	1,000	1,000
Power & Capacity Degradation(% of rated spec)	20	20
Selling Price - 25,000 units @ 40 kWh(\$/kWh)	<150	100
Operating Environment(°C)	-40 to +50 20% Performance Loss (10% Desired)	-40 to +85
Normal Recharge Time	6 hours (4 hours Desired)	3 to 6 hours
High Rate Charge	20-70% SOC in <30 minutes @ 150W/kg (<20min @ 270W/kg Desired)	40-80% SOC in 15 minutes
Continuous discharge in 1 hour - No Failure(% of rated energy capacity)	75	75

Fuente: http://www.uscar.org/guest/view_team.php?teams_id=12, Accedido en Marzo 2009.

Anexo C. Previsión Deutsche Bank

Figure 19: Our forecast for the automotive lithium ion battery market

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
US Penetration						
Micro Hybrid	7.0%	10.3%	12.4%	16.7%	17.5%	22.0%
Mild Hybrid	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.5%	10.0%
Full Hybrid	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.5%	10.0%
PHEV	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.5%	5.0%
EV	1.0%	1.2%	1.6%	1.8%	2.0%	2.0%
Total US HEV/PHEV/EV Market Share	22.0%	28.0%	33.0%	40.0%	45.0%	49.0%
US HEV/PHEV/EV Volumes ('000)						
Micro Hybrid	1,314	1,972	2,421	3,326	3,555	4,559
Mild Hybrid	1,126	1,340	1,562	1,793	2,133	2,072
Full Hybrid	1,126	1,340	1,562	1,793	2,133	2,072
PHEV	375	479	586	697	914	1,036
EV	188	230	312	359	406	414
Total US HEV/PHEV/EV Volumes ('000 un	4,129	5,361	6,444	7,967	9,142	10,154
Europe Penetration						
Micro Hybrid	32.0%	32.1%	31.2%	30.3%	30.4%	30.0%
Mild Hybrid	8.0%	9.5%	11.0%	12.5%	14.0%	15.0%
Full Hybrid	7.0%	9.0%	11.0%	13.0%	14.0%	15.0%
PHEV	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
EV	1.0%	1.4%	1.8%	2.2%	2.6%	3.0%
Total Europe HEV/PHEV/EV Market Share	50.0%	54.0%	57.0%	60.0%	63.0%	65.0%
Europe HEV/PHEV/EV Volumes ('000)						
Micro Hybrid	6037	6117	6005	5890	5968	5949
Mild Hybrid	1509	1810	2117	2430	2748	2974
Full Hybrid	1321	1715	2117	2527	2748	2974
PHEV	377	381	385	389	393	397
EV	189	267	346	428	510	595
Total Europe HEV/PHEV/EV Volumes ('00	9433	10290	10970	11663	12368	12888
Market Share of HEV Batteries						
Nickel Metal Hydrid	70%	65%	60%	50%	40%	30%
Lithium Ion	30%	35%	40%	50%	60%	70%
Developed World Lithium Batteries ('000)						
Mild Hybrid	791	1,103	1,472	2,111	2,929	3,533
Full Hybrid	734	1,069	1,472	2,160	2,929	3,533
PHEV	753	860	971	1,086	1,307	1,433
EV	376	497	659	786	917	1,009
Lithium Batteries ('000 Units)	2,654	3,528	4,573	6,143	8,082	9,507
ROW World Lithium Batteries ('000)						
Mild Hybrid	198	276	368	528	732	883
Full Hybrid	184	267	368	540	732	883
PHEV	188	215	243	271	327	358
EV	94	124	165	197	229	252
Lithium Batteries ('000 Units)	663	882	1,143	1,536	2,020	2,377
Lithium Battery Revenue Per Unit						
Mild Hybrid	600	600	600	600	600	600
Full Hybrid	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
PHEV	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
EV	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
Lithium Battery Revenue (\$MM)						
Mild Hybrid	593	827	1,104	1,583	2,197	2,649
Full Hybrid	1,101	1,604	2,208	3,240	4,394	5,299
PHEV	5,645	6,448	7,281	8,144	9,802	10,745
EV	5,175	6,827	9,059	10,810	12,606	13,878
Lithium Battery Revenue (\$MM)	12,514	15,706	19,651	23,777	28,998	32,572

Source: Deutsche Bank estimates based on discussions with Global Insight, Roland Berger, battery companies and automakers

Anexo D. Directiva 2006/66/EC relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores

I

(Actos cuya publicación es una condición para su aplicabilidad)

DIRECTIVA 2006/66/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO**de 6 de septiembre de 2006****relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE****(Texto pertinente a efectos del EEE)**

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, su artículo 175, apartado 1, y su artículo 95, apartado 1, en relación con los artículos 4, 6 y 21 de la presente Directiva,

Vista la propuesta de la Comisión ⁽¹⁾,

Visto el dictamen del Comité Económico y Social Europeo ⁽²⁾,

Visto el dictamen del Comité de las Regiones ⁽³⁾,

De conformidad con el procedimiento previsto en el artículo 251 del Tratado ⁽⁴⁾, a la vista del texto conjunto aprobado el 22 de junio de 2006 por el Comité de conciliación,

Considerando lo siguiente:

(1) Es deseable armonizar las disposiciones nacionales en materia de pilas y acumuladores y de residuos de pilas y acumuladores. El objetivo principal de la presente Directiva es reducir al máximo el impacto negativo de todos ellos sobre el medio ambiente, contribuyendo así a la protección, conservación y mejora de la calidad del entorno. El fundamento jurídico es, pues, el artículo 175, apartado 1, del Tratado. No obstante, conviene también tomar medidas a escala comunitaria sobre la base del artículo 95, apartado 1, del Tratado para armonizar requisitos relativos a contenido en metales pesados y al etiquetado de pilas y acumuladores, y para garantizar así un correcto funcionamiento del mercado interior y evitar el falseamiento de la competencia en la Comunidad.

⁽¹⁾ DO C 96 de 21.4.2004, p. 29.

⁽²⁾ DO C 117 de 30.4.2004, p. 5.

⁽³⁾ DO C 121 de 30.4.2004, p. 35.

⁽⁴⁾ Dictamen del Parlamento Europeo de 20 de abril de 2004 (DO C 104 E de 30.4.2004, p. 354), Posición Común del Consejo de 18 de julio de 2005 (DO C 264 E de 25.10.2005, p. 1) y Posición del Parlamento Europeo de 13 de diciembre de 2005 (no publicada aún en el Diario Oficial). Resolución legislativa del Parlamento Europeo de 4 de julio de 2006 (no publicada aún en el Diario Oficial) y Decisión del Consejo de 18 de julio de 2006.

(2) La Comunicación de la Comisión de 30 de julio de 1996 sobre la revisión de la estrategia comunitaria para la gestión de residuos estableció las directrices de la futura política comunitaria en materia de residuos. Esta Comunicación subrayaba la necesidad de reducir las cantidades de sustancias peligrosas en los residuos y destacaba los beneficios que podrían derivarse de la adopción de normas de ámbito comunitario que limitasen la presencia de dichas sustancias en los productos y en los procesos productivos. Afirmaba también que, cuando no pueda evitarse la producción de residuos, estos deben reutilizarse o recuperarse para aprovechar los materiales o la energía que contienen.

(3) La Resolución del Consejo, de 25 de enero de 1988, relativa a un programa de acción para combatir la contaminación ambiental por cadmio ⁽⁵⁾, subrayó la limitación del uso del cadmio a los casos en que no existan alternativas adecuadas y la recogida y el reciclado de las pilas que contengan cadmio como elementos importantes de la estrategia de control del cadmio en interés de la protección de la salud humana y del medio ambiente.

(4) La Directiva 91/157/CEE del Consejo, de 18 de marzo de 1991, relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas ⁽⁶⁾, ha llevado a cabo una aproximación de las normativas de los Estados miembros en este campo. Sin embargo, los objetivos de esa Directiva no se han alcanzado totalmente. La Decisión n° 1600/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de julio de 2002, por la que se establece el sexto programa de acción comunitario en materia de medio ambiente ⁽⁷⁾, y la Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) ⁽⁸⁾, hacían también hincapié en la necesidad de revisar la Directiva 91/157/CEE. Por todo ello, y en aras de una mayor claridad, es necesario revisar y sustituir la Directiva 91/157/CEE.

⁽⁵⁾ DO C 30 de 4.2.1988, p. 1.

⁽⁶⁾ DO L 78 de 26.3.1991, p. 38. Directiva modificada por la Directiva 98/101/CE de la Comisión (DO L 1 de 5.1.1999, p. 1).

⁽⁷⁾ DO L 242 de 10.9.2002, p. 1.

⁽⁸⁾ DO L 37 de 13.2.2003, p. 24. Directiva modificada por la Directiva 2003/108/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 345 de 31.12.2003, p. 106).

- (5) A fin de lograr sus objetivos medioambientales, la presente Directiva prohíbe la puesta en el mercado de determinadas pilas y acumuladores que contengan mercurio o cadmio. Promueve también un alto nivel de recogida y reciclado de residuos de pilas y acumuladores y una mejor actuación medioambiental de todos los operadores que participen en el ciclo de vida de pilas y acumuladores, como productores, distribuidores y usuarios finales y, en particular, aquellos operadores que participen directamente en el tratamiento y reciclado de residuos de pilas y acumuladores. Las normas específicas que se precisan para ello completan la legislación comunitaria sobre residuos, en particular la Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos ⁽¹⁾, la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos ⁽²⁾, y la Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos ⁽³⁾.
- (6) Con el fin de impedir que los residuos de pilas y acumuladores sean desechados de manera que contaminen el medio ambiente, y para evitar la confusión de los usuarios finales en relación con las distintas normas de gestión de residuos vigentes para los diferentes tipos de pilas y acumuladores, la presente Directiva debe aplicarse a todas las pilas y acumuladores puestos en el mercado dentro de la Comunidad. Ese amplio ámbito de aplicación supone también garantizar economías de escala en la recogida y el reciclado, y obtener un aprovechamiento óptimo de los recursos.
- (7) La fiabilidad de las pilas y acumuladores es fundamental para la seguridad de muchos productos, aparatos y servicios, puesto que las pilas y los acumuladores constituyen una fuente de energía fundamental para la sociedad.
- (8) Conviene distinguir entre pilas y acumuladores portátiles, por un lado, y pilas y acumuladores industriales y de automoción por otro. Debe prohibirse la eliminación de pilas y acumuladores industriales y de automoción en lugares de vertido o mediante incineración.
- (9) Las pilas y acumuladores industriales incluyen las pilas y acumuladores empleados para el suministro de electricidad de emergencia o de apoyo en hospitales, aeropuertos u oficinas; las pilas y acumuladores empleados en trenes o aviones y las pilas y acumuladores empleados en plataformas petrolíferas o faros. Incluyen también las pilas y acumuladores diseñados para usos exclusivamente profesionales, tales como terminales de pago manuales en tiendas y restaurantes, lectores de códigos de barras en tiendas, equipos de vídeo profesionales para cadenas y estudios profesionales de televisión, y lámparas de casco de minero y lámparas de buzo sujetas al casco; las pilas y acumuladores de emergencia para puertas eléctricas para evitar que bloqueen o aplasten a personas; las pilas y acumuladores empleados en instalaciones de medición o en diversos tipos de equipos de medición e instrumentación; y las pilas y acumuladores empleados en relación con paneles solares, fotovoltaicos y demás aplicaciones de energía renovable. Incluyen también las pilas y acumuladores empleados en vehículos eléctricos, tales como coches eléctricos, sillas de ruedas, bicicletas, vehículos de aeropuerto y vehículos de transporte automático. Además de lo consignado en esta lista no exhaustiva de ejemplos, se debe considerar industrial toda pila o acumulador que no esté sellado o no sea de automoción.
- (10) Las pilas y acumuladores portátiles, es decir, las pilas y acumuladores sellados que cualquier persona normal pueda llevar en la mano sin dificultad y que no sean ni pilas o acumuladores de automoción ni pilas o acumuladores industriales, incluyen las pilas de célula única (tales como AA y AAA) y las pilas y acumuladores empleados por consumidores o profesionales en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, herramientas eléctricas inalámbricas, juguetes y electrodomésticos tales como cepillos de dientes, maquinillas de afeitar y aspiradores manuales (con inclusión de los equipos similares empleados en escuelas, tiendas, restaurantes, aeropuertos, oficinas u hospitales) y toda pila o acumulador que los consumidores puedan emplear en electrodomésticos habituales.
- (11) La Comisión debe evaluar la necesidad de llevar a cabo una adaptación de la presente Directiva, teniendo en cuenta los datos de carácter técnico y científico disponibles. En particular, la Comisión debe llevar a cabo una revisión de la exención de la prohibición del cadmio concedida para las pilas y acumuladores portátiles destinados a herramientas eléctricas inalámbricas. Entre estas se cuentan herramientas que consumidores y profesionales emplean para torneear, molturar, enarenar, pulir, aserrar, cortar, cizallar, taladrar, perforar, punzar, estampar, remachar, atornillar, pulir o trabajar la madera, el metal u otros materiales de forma similar, así como para segar, podar u otras actividades de jardinería.
- (12) La Comisión debe llevar a cabo asimismo un seguimiento de la evolución tecnológica que mejore el rendimiento medioambiental de pilas y acumuladores a lo largo de todo su período de vida útil, incluso mediante la participación en un sistema de gestión y auditoría medioambientales (SGAM), y los Estados miembros deben fomentar dicha evolución.
- (13) En aras de la protección del medio ambiente, es necesario recoger los residuos de pilas y acumuladores. Respecto a las pilas y acumuladores portátiles deben crearse sistemas de recogida capaces de un alto nivel de recogida. Para ello es preciso instaurar unos sistemas de recogida de manera que los consumidores finales puedan desechar de forma conveniente y gratuita todos los residuos de pilas y acumuladores portátiles. Serán también apropiados para los diferentes tipos de pilas y acumuladores diferentes sistemas de recogida y de mecanismos de financiación.
- ⁽¹⁾ DO L 114 de 27.4.2006, p. 9.
- ⁽²⁾ DO L 182 de 16.7.1999, p. 1. Directiva modificada por el Reglamento (CE) n° 1882/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 284 de 31.10.2003, p. 1).
- ⁽³⁾ DO L 332 de 28.12.2000, p. 91.

- (14) Es deseable que los Estados miembros consigan un alto índice de recogida y reciclado de residuos de pilas y acumuladores para lograr un alto nivel de protección medioambiental y recuperación de material en toda la Comunidad. Por consiguiente, la presente Directiva debe fijar unos objetivos mínimos de recogida y reciclado para los Estados miembros. Conviene calcular el índice de recogida sobre la base de las ventas medias anuales en los años anteriores para disponer así de objetivos comparables para todos los Estados miembros que guarden proporción con el nivel nacional de consumo de pilas y acumuladores.
- (15) Deben establecerse unos requisitos especiales de reciclado para pilas y acumuladores de cadmio y plomo con el fin de alcanzar un alto índice de recuperación de materiales en toda la Comunidad y de evitar disparidades entre Estados miembros.
- (16) Todas las partes interesadas deben poder participar en los sistemas de recogida, tratamiento y reciclado. Estos han de ser concebidos de forma que se evite toda discriminación en contra de las pilas y acumuladores importados, así como la creación de obstáculos al comercio o el falseamiento de la competencia.
- (17) Los sistemas de recogida y reciclado deben optimizarse con el fin, en particular, de reducir al mínimo los costes y la repercusión medioambiental negativa del transporte. Los sistemas de tratamiento y reciclado deben emplear las mejores técnicas disponibles, tal y como se definen en el artículo 2, apartado 11, de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación⁽¹⁾. La definición de «reciclado» debe excluir la recuperación de energía. El concepto de recuperación de energía se define en otros instrumentos comunitarios.
- (18) Las pilas y acumuladores pueden recogerse de forma individual mediante sistemas nacionales de recogida de pilas, o junto con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) mediante sistemas nacionales de recogida establecidos en la Directiva 2002/96/CE. En este último caso y como requisito mínimo obligatorio de tratamiento, las pilas y acumuladores deben separarse de los RAEE recogidos. Una vez separados de los RAEE, las pilas y acumuladores quedan sujetos a los requisitos establecidos en la presente Directiva; en particular, entran en el cómputo de los objetivos de recogida que se deben alcanzar y están sometidos a los requisitos de reciclado.
- (19) Los principios básicos que rijan la financiación de la gestión de residuos de pilas y acumuladores deben establecerse a nivel comunitario. Los planes de financiación deben contribuir a la consecución de un alto índice de recogida y reciclado, así como al cumplimiento del principio de responsabilidad del productor. Todos los productores según la definición de la presente Directiva deben estar registrados. Los productores deben financiar los costes de recogida, tratamiento y reciclado de todas las pilas y acumuladores recogidos, deducidos los beneficios logrados mediante la venta de los materiales recuperados. No obstante en ciertas circunstancias, podría justificarse la aplicación de normas *de minimis* a los pequeños productores.
- (20) Para asegurar el éxito de la recogida es necesario proporcionar al consumidor final información sobre lo deseable de la recogida selectiva, sobre los sistemas de recogida disponibles y sobre el papel que el consumidor final puede desempeñar en la gestión de residuos de pilas y acumuladores. Es preciso regular detalladamente el sistema de etiquetado, que debe proporcionar al consumidor final una información transparente, fiable y clara acerca de las pilas y acumuladores y de todos los metales pesados que contienen.
- (21) Si para lograr los objetivos de la presente Directiva y, en particular, un alto nivel de recogida selectiva y de reciclado, los Estados miembros recurrieran a instrumentos de carácter económico, tales como una imposición fiscal diferenciada, deben informar oportunamente de ello a la Comisión.
- (22) Hacen falta datos fiables y comparables sobre las cantidades de pilas y acumuladores puestos en el mercado, recogidos y reciclados, con el fin de apreciar si se han cumplido los objetivos de la presente Directiva.
- (23) Los Estados miembros deben determinar el régimen de sanciones aplicable a las infracciones de las disposiciones de la presente Directiva y garantizar su aplicación. Las sanciones deben ser eficaces, proporcionadas y disuasorias.
- (24) De conformidad con el punto 34 del Acuerdo interinstitucional «Legislar mejor»⁽²⁾, se alienta a los Estados miembros a establecer, en su propio interés y en el de la Comunidad, sus propios cuadros, que muestren, en la medida de lo posible, la concordancia entre la presente Directiva y las medidas de transposición, y a hacerlos públicos.
- (25) Procede aprobar las medidas necesarias para la ejecución de la presente Directiva con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión⁽³⁾.
- (26) Dado que los objetivos de la presente Directiva, a saber, proteger el medio ambiente y garantizar un correcto funcionamiento del mercado interior, no pueden ser alcanzados de manera suficiente por los Estados miembros y, por consiguiente, debido a la dimensión o a los efectos de la acción contemplada, pueden lograrse mejor a nivel comunitario, la Comunidad puede adoptar medidas, de acuerdo con el principio de subsidiariedad consagrado en el artículo 5 del Tratado. De conformidad con el principio de proporcionalidad enunciado en dicho artículo, la presente Directiva no excede de lo necesario para alcanzar dichos objetivos.

⁽¹⁾ DO L 257 de 10.10.1996, p. 26. Directiva modificada en último lugar por el Reglamento (CE) n° 166/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 33 de 4.2.2006, p. 1).

⁽²⁾ DO C 321 de 31.12.2003, p. 1.

⁽³⁾ DO L 184 de 17.7.1999, p. 23. Decisión modificada por la Decisión 2006/512/CE (DO L 200 de 22.7.2006, p. 11).

- (27) La presente Directiva se aplicará sin perjuicio de la legislación comunitaria sobre los requisitos en materia de seguridad, calidad e higiene y de la legislación comunitaria específica en materia de residuos, en particular la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil⁽¹⁾, y la Directiva 2002/96/CE.
- (28) Por lo que se refiere a la responsabilidad del productor, los productores de pilas y acumuladores y los productores de otros productos que contengan una pila o acumulador son responsables de la gestión de los residuos de pilas y acumuladores que pongan en el mercado. Conviene tener un enfoque flexible para permitir planes de financiación que se hagan eco de las diferentes circunstancias nacionales y para tener en cuenta los planes existentes, en particular los establecidos en aplicación de las Directivas 2000/53/CE y 2002/96/CE, a la vez que se evitan duplicaciones.
- (29) La Directiva 2002/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos⁽²⁾, no se aplica a las pilas y acumuladores utilizados en tales aparatos.
- (30) Las pilas y acumuladores industriales y de automoción utilizadas en los vehículos deben atenerse a los requisitos impuestos por la Directiva 2000/53/CE, y en particular por su artículo 4. Por ello se prohíbe el uso del cadmio en pilas y acumuladores industriales destinados a vehículos eléctricos, a no ser que puedan beneficiarse de una exención sobre la base del anexo II de dicha Directiva.

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

Artículo 1

Objeto

La presente Directiva establece:

- 1) las normas de puesta en el mercado de las pilas y acumuladores, y en particular la prohibición de poner en el mercado pilas y acumuladores que contengan sustancias peligrosas, y
- 2) las normas específicas de recogida, tratamiento, reciclado y eliminación de los residuos de pilas y acumuladores que completen la correspondiente legislación comunitaria en materia de residuos y fomenten un alto nivel de recogida y reciclado de residuos de pilas y acumuladores.

La Directiva procura mejorar el rendimiento medioambiental de las pilas y acumuladores y de las actividades de todos los

operadores económicos que participan en el ciclo de vida de las pilas y acumuladores, como los productores, los distribuidores y los usuarios finales, y en particular, de aquellos operadores que participan directamente en el tratamiento y reciclado de residuos de pilas y acumuladores.

Artículo 2

Ámbito de aplicación

1. La presente Directiva se aplicará a todo tipo de pilas y acumuladores, independientemente de su forma, volumen, peso, composición o uso. Se aplicará sin perjuicio de las Directivas 2000/53/CE y 2002/96/CE.
2. La presente Directiva no se aplicará a las pilas y acumuladores utilizados:
 - a) en equipos relacionados con la protección de los intereses esenciales de seguridad de los Estados miembros, armas, municiones y material de guerra, salvo los productos no destinados a fines específicamente militares;
 - b) en equipos destinados a ser enviados al espacio.

Artículo 3

Definiciones

A los efectos de la presente Directiva, se entenderá por:

- 1) «pila» o «acumulador»: una fuente de energía eléctrica obtenida por transformación directa de energía química y constituida por uno o varios elementos primarios (no recargables) o por uno o varios elementos secundarios (recargables);
- 2) «batería»: un conjunto de pilas o acumuladores conectados entre sí o que pueden formar una unidad integrada y cerrada dentro de una carcasa exterior, no destinada a ser desmontada ni abierta por el usuario final;
- 3) «pila o acumulador portátil»: una pila, pila botón, batería o acumulador que:
 - a) esté sellado;
 - b) pueda llevarse en la mano, y
 - c) no sea una pila o acumulador industrial ni una pila o acumulador de automoción;
- 4) «pila botón»: una pila o acumulador, pequeño, redondo y portátil, cuyo diámetro es superior a su altura, destinada a aparatos especiales, como audífonos, relojes, pequeños aparatos portátiles y dispositivos de reserva;
- 5) «pila o acumulador de automoción»: una pila o acumulador utilizado para el arranque, encendido o alumbrado de automoción;

⁽¹⁾ DO L 269 de 21.10.2000, p. 34. Directiva modificada en último lugar por la Decisión 2005/673/CE del Consejo (DO L 254 de 30.9.2005, p. 69).

⁽²⁾ DO L 37 de 13.2.2003, p. 19. Directiva modificada en último lugar por la Decisión 2006/310/CE de la Comisión (DO L 115 de 28.4.2006, p. 38).

- 6) «pila o acumulador industrial»: una pila o acumulador diseñado exclusivamente para uso industrial o profesional o utilizado en cualquier tipo de vehículo eléctrico;
- 7) «residuo de pila o acumulador»: una pila o acumulador que sea un residuo a efectos del artículo 1, apartado 1, letra a), de la Directiva 2006/12/CE;
- 8) «reciclado»: el reprocesado de los materiales de los residuos en el contexto de un proceso productivo, con objeto de destinarlos a los mismos fines a los que se destinaban originalmente o a otros pero con excepción de la recuperación de energía;
- 9) «eliminación»: cualquiera de las operaciones previstas en la parte A del anexo II de la Directiva 2006/12/CE;
- 10) «tratamiento»: cualquier actividad realizada con los residuos de pilas y acumuladores una vez han sido entregados a una instalación para su clasificación, preparación para el reciclado o preparación para la eliminación;
- 11) «aparato»: cualquier aparato eléctrico y electrónico, tal como se define en la Directiva 2002/96/CE, que se alimente, o pueda ser alimentado, total o parcialmente, por medio de pilas o acumuladores;
- 12) «productor»: cualquier persona en un Estado miembro que, con independencia de la técnica de venta utilizada, incluida la comunicación a distancia definida en la Directiva 97/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de mayo de 1997, relativa a la protección de los consumidores en materia de contratos a distancia ⁽¹⁾, ponga en el mercado, por primera vez y de manera profesional, pilas o acumuladores, incluidas las pilas o los acumuladores incorporados en aparatos o vehículos, en el territorio de dicho Estado miembro;
- 13) «distribuidor»: cualquier persona que suministre pilas y acumuladores a un usuario final en el marco de una actividad profesional;
- 14) «puesta en el mercado»: el suministro a un tercero o la puesta a su disposición, ya sea previo pago o a título gratuito, en el territorio de la Comunidad, incluida la importación al territorio aduanero comunitario;
- 15) «operadores económicos»: los productores, distribuidores, recogedores, recicladores y otros operadores de tratamiento;
- 16) «herramienta eléctrica inalámbrica»: un aparato portátil alimentado por una pila o acumulador y destinado a actividades de mantenimiento, construcción o jardinería;
- 17) «índice de recogida»: el porcentaje obtenido en un Estado miembro determinado en un año natural determinado al dividir el peso de los residuos de pilas y acumuladores portátiles recogidos de conformidad con el artículo 8, apartado 1, de la presente Directiva, o con la Directiva 2002/96/CE, en dicho año natural por el peso medio de las pilas y acumuladores portátiles que los productores vendan directamente al usuario final o suministren a terceros para su venta al usuario final en ese Estado miembro durante ese año natural y en los dos años naturales anteriores.

⁽¹⁾ DO L 144 de 4.6.1997, p. 19. Directiva modificada en último lugar por la Directiva 2005/29/CE (DO L 149 de 11.6.2005, p. 22).

Artículo 4

Prohibiciones

1. Sin perjuicio de lo dispuesto en la Directiva 2000/53/CE, los Estados miembros prohibirán la puesta en el mercado de:

- a) todas las pilas y acumuladores, hayan sido o no incorporados a aparatos, que contengan más de 0,0005 % de mercurio en peso, y
- b) las pilas o acumuladores portátiles, incluidos las pilas o acumuladores que hayan sido incorporados a aparatos, que contengan más de 0,002 % de cadmio en peso.

2. La prohibición que figura en el apartado 1, letra a), no se aplicará a las pilas de botón con un contenido de mercurio no superior al 2 % en peso.

3. La prohibición del apartado 1, letra b), no se aplicará a las pilas y acumuladores portátiles destinados a ser utilizados en:

- a) dispositivos de emergencia y de alarma, incluida la iluminación de emergencia;
- b) equipos médicos, o
- c) herramientas eléctricas inalámbricas.

4. La Comisión revisará la excepción prevista en el apartado 3, letra c), y presentará, si es necesario, al Parlamento Europeo y al Consejo, a más tardar el 26 de septiembre de 2010, un informe acompañado de las propuestas correspondientes, con vistas a prohibir el cadmio en pilas y acumuladores.

Artículo 5

Mejora del rendimiento medioambiental

Los Estados miembros con fabricantes establecidos en su territorio promoverán la investigación y fomentarán mejoras del rendimiento medioambiental global de las pilas y acumuladores a lo largo de todo su ciclo de vida útil, así como el desarrollo y la puesta en el mercado de pilas y acumuladores con menores cantidades de sustancias peligrosas o con sustancias menos contaminantes, en particular como sustitutos del mercurio, el cadmio y el plomo.

Artículo 6

Puesta en el mercado

1. Los Estados miembros no impedirán, prohibirán ni restringirán, por las razones expuestas en la presente Directiva, la puesta en el mercado en su territorio de las pilas y acumuladores que cumplan los requisitos de la presente Directiva.

2. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que las pilas y acumuladores que no cumplan los requisitos de la presente Directiva no sean puestos en el mercado o se retiren del mismo.

*Artículo 7***Objetivo general**

Los Estados miembros, teniendo en cuenta los efectos del transporte en el medio ambiente, adoptarán las medidas necesarias para maximizar la recogida selectiva de residuos de pilas y acumuladores, así como para reducir al mínimo la eliminación de pilas y acumuladores como residuos municipales mezclados, con el fin de alcanzar un alto nivel de reciclado para todos los residuos de pilas y acumuladores.

*Artículo 8***Sistemas de recogida**

1. Los Estados miembros velarán por que existan sistemas adecuados de recogida para los residuos de pilas y acumuladores portátiles. Dichos sistemas:

- a) permitirán al usuario final desechar los residuos de pilas o acumuladores portátiles en un punto de recogida accesible y cercano, teniendo en cuenta la densidad de población;
- b) exigirán que los distribuidores acepten la devolución de los residuos de pilas o acumuladores portátiles, sin cargo alguno, cuando suministren pilas o acumuladores portátiles, salvo que se demuestre mediante evaluación que los sistemas alternativos existentes son al menos igual de efectivos para alcanzar los objetivos medioambientales de la presente Directiva. Los Estados miembros publicarán dichas evaluaciones;
- c) no supondrán costes para el usuario final cuando deseche residuos de pilas o acumuladores portátiles, ni la obligación de comprar una pila o acumulador nuevo;
- d) podrán utilizarse en conjunción con los sistemas a que se refiere el artículo 5, apartado 2, de la Directiva 2002/96/CE.

Los puntos de recogida creados en cumplimiento de la letra a) del presente apartado no estarán sujetos a los requisitos de registro o autorización establecidos en la Directiva 2006/12/CE o la Directiva 91/689/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a los residuos peligrosos ⁽¹⁾.

2. Siempre que los sistemas cumplan los criterios establecidos en el apartado 1, los Estados miembros podrán:

- a) exigir a los productores que establezcan estos sistemas;
- b) exigir a otros operadores económicos que participen en estos sistemas;
- c) mantener los sistemas existentes.

3. Los Estados miembros velarán por que los productores de pilas y acumuladores industriales, o un tercero que actúe en su nombre, no se nieguen a aceptar la devolución por el usuario final de los residuos de pilas y acumuladores industriales independientemente de su composición química u origen. Las pilas y los acumuladores industriales también podrán ser recogidos por terceros independientes.

⁽¹⁾ DO L 377 de 31.12.1991, p. 20. Directiva modificada en último lugar por el Reglamento (CE) n° 166/2006.

4. Los Estados miembros velarán por que los productores de pilas y acumuladores de automoción, o un tercero, instauren sistemas de recogida de residuos de pilas y acumuladores de automoción del usuario final o en un punto de recogida accesible y cercano a este, cuando no se recojan mediante los sistemas a que se refiere el artículo 5, apartado 1, de la Directiva 2000/53/CE. En el caso de las pilas y acumuladores de automoción procedentes de vehículos privados no destinados a usos comerciales, dichos sistemas no supondrán costes para el usuario final cuando deseche residuos de pilas o acumuladores, ni la obligación de comprar una pila o acumulador nuevo.

*Artículo 9***Instrumentos económicos**

Los Estados miembros podrán recurrir a instrumentos económicos para promover la recogida de residuos de pilas y acumuladores o fomentar el uso de pilas y acumuladores con sustancias menos contaminantes, tales como una imposición fiscal diferenciada. Si lo hacen, deberán notificar a la Comisión las medidas relativas a la aplicación de tales instrumentos.

*Artículo 10***Objetivos de recogida**

1. Los Estados miembros calcularán el índice de recogida por primera vez respecto del quinto año natural siguiente a la entrada en vigor de la presente Directiva.

Sin perjuicio de lo establecido en la Directiva 2002/96/CE, las cifras anuales de recogida y de ventas incluirán las pilas y acumuladores incorporados a los aparatos.

2. Los Estados miembros deberán alcanzar los siguientes índices mínimos de recogida:

- a) el 25 % a más tardar el 26 de septiembre de 2012;
- b) el 45 % a más tardar el 26 de septiembre de 2016.

3. Los Estados miembros supervisarán los índices de recogida cada año, siguiendo el esquema que figura en el anexo I. Sin perjuicio de lo dispuesto en el Reglamento (CE) n° 2150/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2002, relativo a las estadísticas sobre residuos ⁽²⁾, los Estados miembros deberán transmitir los informes a la Comisión en los seis meses siguientes al final del año natural en cuestión. Los informes indicarán el modo en que se recabaron los datos necesarios para calcular los índices de recogida.

4. Conforme al procedimiento contemplado en el artículo 24, apartado 2:

- a) podrán establecerse medidas transitorias para hacer frente a las dificultades a que se enfrenta un Estado miembro para cumplir los requisitos del apartado 2 que resulten de circunstancias nacionales específicas;

⁽²⁾ DO L 332 de 9.12.2002, p. 1. Reglamento modificado en último lugar por el Reglamento (CE) n° 783/2005 de la Comisión (DO L 131 de 25.5.2005, p. 38).

- b) deberá establecerse una metodología común para el cálculo de las ventas anuales de pilas y acumuladores portátiles a usuarios finales a más tardar el 26 de septiembre de 2007.

Artículo 11

Extracción de los residuos de pilas y acumuladores

Los Estados miembros velarán por que los fabricantes desarrollen aparatos de los se puedan extraer fácilmente los residuos de pilas y acumuladores. Los aparatos que lleven incorporados pilas o acumuladores deberán ir acompañados de instrucciones que muestren cómo realizar la extracción de forma segura y, si procede, informen al usuario final de la clase de pilas y acumuladores incorporados. Estas disposiciones no se aplicarán cuando, por razones de seguridad, rendimiento, de orden médico o de mantenimiento de datos, la continuidad de la alimentación de la energía sea necesaria y requiera una conexión permanente entre el aparato y la pila o acumulador.

Artículo 12

Tratamiento y reciclado

1. Los Estados miembros garantizarán que, a más tardar el 26 de septiembre de 2009:
 - a) los productores o terceros instauren, utilizando las mejores técnicas disponibles, en términos de protección de la salud y del medio ambiente, sistemas de tratamiento y reciclado de los residuos de pilas y acumuladores, y
 - b) todas las pilas y acumuladores identificables recogidos con arreglo a lo dispuesto en el artículo 8 de la presente Directiva, o en la Directiva 2002/96/CE, sean sometidos a tratamiento y reciclado mediante sistemas que respeten, como mínimo, la legislación comunitaria, en especial por lo que se refiere a la salud, la seguridad y la gestión de residuos.

No obstante, los Estados miembros, de conformidad con el Tratado, podrán eliminar las pilas o acumuladores portátiles que contengan cadmio, mercurio o plomo que hayan recogido en vertederos terrestres o almacenes subterráneos cuando no se disponga de un mercado final viable. Los Estados miembros podrán asimismo, de conformidad con el Tratado, eliminar las pilas o acumuladores portátiles que contengan cadmio, mercurio o plomo que hayan recogido en vertederos terrestres o almacenes subterráneos, como parte de una estrategia encaminada a la supresión progresiva de los metales pesados en la que, sobre la base de una evaluación detallada del impacto medioambiental, económico y social, quede demostrado que la eliminación es una opción preferible al reciclado.

Los Estados miembros publicarán dicha evaluación y notificarán a la Comisión los proyectos de medidas de conformidad con la Directiva 98/34/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998, por la que se establece un procedimiento de información en materia de las normas y reglamentaciones técnicas y de las reglas relativas a los servicios de la sociedad de la información ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ DO L 204 de 21.7.1998, p. 37. Directiva modificada en último lugar por el Acta de adhesión de 2003.

2. El tratamiento cumplirá los requisitos mínimos previstos en el anexo III, parte A.

3. Cuando las pilas o acumuladores se recojan junto con los RAEE sobre la base de la Directiva 2002/96/CE, deberán posteriormente separarse de dichos RAEE.

4. Los procesos de reciclado cumplirán los niveles de eficiencia de reciclado y sus disposiciones conexas establecidos en el anexo III, parte B a más tardar el 26 de septiembre de 2010.

5. Los Estados miembros informarán acerca de los niveles de reciclado conseguidos en cada año natural y los niveles de eficiencia alcanzados a que se refiere el anexo III, parte B. Informarán a la Comisión en los seis meses siguientes al año natural en cuestión.

6. El anexo III podrá ser adaptado o complementado para tener en cuenta la evolución científica o técnica de conformidad con el procedimiento previsto en el artículo 24, apartado 2. En particular:

- a) se añadirán, a más tardar el 26 de marzo de 2010, normas precisas relativas al cálculo de los niveles de eficiencia de reciclado, y

- b) los niveles de eficiencia mínimos de reciclado serán evaluados periódicamente y se adaptarán a las mejores técnicas disponibles a la vista de lo referido en el apartado 1, párrafo segundo.

7. Antes de proponer enmiendas al anexo III, la Comisión consultará a los interesados, en particular los productores, recogedores, recicladores, encargados del tratamiento, organizaciones medioambientales, organizaciones de consumidores y asociaciones de trabajadores. La Comisión informará del resultado de esta consulta al comité mencionado en el artículo 24, apartado 1.

Artículo 13

Nuevas tecnologías de reciclado

1. Los Estados miembros fomentarán el desarrollo de nuevas tecnologías de reciclado y tratamiento, y promoverán la investigación de métodos de reciclado rentables y no perjudiciales para el medio ambiente para todos los tipos de pilas y acumuladores.

2. Los Estados miembros fomentarán que las instalaciones de tratamiento introduzcan sistemas de gestión medioambiental certificados de conformidad con el Reglamento (CE) n° 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo de 2001, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) ⁽²⁾.

⁽²⁾ DO L 114 de 24.4.2001, p. 1. Reglamento modificado en último lugar por el Reglamento (CE) n° 196/2006 de la Comisión (DO L 32 de 4.2.2006, p. 4).

Artículo 14**Eliminación**

Los Estados miembros prohibirán la eliminación en vertederos terrestres o la incineración de residuos de pilas y acumuladores industriales y de automoción. No obstante, los residuos de cualquier tipo de pilas y acumuladores que hayan sido sometidos tanto a tratamiento como a reciclado de conformidad con lo dispuesto en el artículo 12, apartado 1, podrán ser eliminados en vertederos terrestres o mediante incineración.

Artículo 15**Exportaciones**

1. El tratamiento y el reciclado podrán realizarse fuera del Estado miembro respectivo o fuera de la Comunidad, a condición de que el transporte de los residuos de pilas y acumuladores cumpla las disposiciones del Reglamento (CEE) n° 259/93 del Consejo, de 1 de febrero de 1993, relativo a la vigilancia y al control de los traslados de residuos en el interior, a la entrada y a la salida de la Comunidad Europea ⁽¹⁾.

2. Se supondrá que los residuos de pilas y acumuladores exportados fuera de la Comunidad de conformidad con el Reglamento (CEE) n° 259/93, del Reglamento (CE) n° 1420/1999 del Consejo, de 29 de abril de 1999, por el que se establecen normas y procedimientos comunes aplicables a los traslados de ciertos tipos de residuos a determinados países no miembros de la OCDE ⁽²⁾, y del Reglamento (CE) n° 1547/1999 de la Comisión, de 12 de julio de 1999, por el que se determinan, con arreglo al Reglamento (CEE) n° 259/93 del Consejo, los procedimientos de control que deberán aplicarse a los traslados de algunos residuos a determinados países a los que no es aplicable la Decisión C(92) 39 final de la OCDE ⁽³⁾, cumplen las obligaciones y los niveles de eficiencia contemplados en el anexo III de la presente Directiva, solo si hay pruebas sólidas de que las operaciones de reciclado se han llevado a cabo en condiciones equivalentes a las exigidas por la presente Directiva.

3. Se establecerán normas detalladas para la aplicación del presente artículo siguiendo para ello el procedimiento contemplado el artículo 24, apartado 2.

Artículo 16**Financiación**

1. Los Estados miembros garantizarán que los productores, o un tercero que actúe en su nombre, financien todo coste neto resultante de:

- a) la recogida, el tratamiento y el reciclado de todos los residuos de pilas y acumuladores portátiles recogidos con arreglo al artículo 8, apartados 1 y 2, y
- b) la recogida, el tratamiento y el reciclado de todos los residuos de pilas y acumuladores industriales y de automoción recogidos con arreglo al artículo 8, apartados 3 y 4.

⁽¹⁾ DO L 30 de 6.2.1993, p. 1. Reglamento modificado en último lugar por el Reglamento (CE) n° 2557/2001 de la Comisión (DO L 349 de 31.12.2001, p. 1).

⁽²⁾ DO L 166 de 1.7.1999, p. 6. Reglamento modificado en último lugar por el Reglamento (CE) n° 105/2005 de la Comisión (DO L 20 de 22.1.2005, p. 9).

⁽³⁾ DO L 185 de 17.7.1999, p. 1. Reglamento modificado en último lugar por el Reglamento (CE) n° 105/2005.

2. Los Estados miembros garantizarán que la aplicación de lo dispuesto en el apartado 1 no dé lugar a una duplicación de gastos para los productores en el caso de pilas y acumuladores recogidos con arreglo a los sistemas establecidos de conformidad con las Directivas 2000/53/CE o 2002/96/CE.

3. Los Estados miembros obligarán a los productores, o a un tercero que actúe en su nombre, a financiar todo coste neto resultante de las campañas de información pública sobre la recogida, el tratamiento y el reciclado de todos los residuos de pilas y acumuladores portátiles.

4. Los costes de recogida, tratamiento y reciclado no se indicarán por separado a los usuarios finales en el momento de la venta de pilas o acumuladores portátiles nuevos.

5. Los productores y usuarios de pilas y acumuladores industriales y de automoción podrán celebrar acuerdos que estipulen acuerdos de financiación distintos de los indicados en el apartado 1.

6. El presente artículo se aplicará a todos los residuos de pilas y acumuladores independientemente de su fecha de puesta en el mercado.

Artículo 17**Registro**

Los Estados miembros garantizarán que todos los productores estén registrados. El registro deberá cumplir los mismos requisitos de procedimiento en todos los Estados miembros. Dichos requisitos se establecerán de conformidad con el procedimiento a que se refiere el artículo 24, apartado 2.

Artículo 18**Pequeños productores**

1. Los Estados miembros podrán eximir del cumplimiento de los requisitos del artículo 16, apartado 1, a los productores que, dependiendo del tamaño del mercado nacional, pongan una cantidad muy pequeña de pilas y acumuladores en dicho mercado, siempre que ello no impida el funcionamiento correcto de los sistemas de recogida y reciclado establecidos sobre la base de los artículos 8 y 12.

2. Los Estados miembros publicarán dichos proyectos de medidas y las razones que los motivan, y se los notificarán a la Comisión y a los demás Estados miembros por medio del Comité a que se refiere el artículo 24, apartado 1.

3. La Comisión deberá, dentro de los seis meses siguientes a la notificación prevista en el apartado 2, aprobar o rechazar los proyectos de medidas tras comprobar que respetan las consideraciones establecidas en el apartado 1 y que no constituyen una discriminación arbitraria ni una restricción encubierta al comercio entre Estados miembros. A falta de una decisión de la Comisión en dicho plazo, los proyectos de medidas se considerarán aprobados.

*Artículo 19***Participación**

1. Los Estados miembros velarán por que todos los operadores económicos y todas las autoridades públicas competentes puedan participar en los sistemas de recogida, tratamiento y reciclado indicados en los artículos 8 y 12.
2. Estos sistemas se aplicarán también a las pilas y acumuladores importados de terceros países en condiciones no discriminatorias, y se organizarán de modo que se evite la creación de obstáculos al comercio o la distorsión de la competencia.

*Artículo 20***Información al usuario final**

1. Los Estados miembros velarán por que los usuarios finales reciban una información completa, especialmente a través de campañas de información, acerca de:
 - a) los efectos potenciales de las sustancias empleadas en pilas y acumuladores sobre el medio ambiente y la salud humana;
 - b) la conveniencia de no eliminar los residuos de pilas y acumuladores como residuos urbanos sin clasificar y de participar en su recogida selectiva con objeto de facilitar su tratamiento y reciclado;
 - c) los sistemas de recogida y reciclado de que disponen;
 - d) el papel que deben desempeñar en el reciclado de los residuos de pilas y acumuladores;
 - e) el significado del símbolo gráfico del contenedor de basura tachado recogido en el anexo II, y de los símbolos químicos Hg, Cd y Pb.
2. Los Estados miembros podrán exigir que los operadores económicos proporcionen toda o parte de la información a que se refiere el apartado 1.
3. Si los Estados miembros exigen a los distribuidores que acepten la devolución de los residuos de pilas y acumuladores portátiles de acuerdo con el artículo 8, deberán velar por que dichos distribuidores informen a los usuarios finales sobre la posibilidad de desechar los residuos de pilas o acumuladores portátiles en sus puntos de venta.

*Artículo 21***Etiquetado**

1. Los Estados miembros velarán por que todas las pilas, acumuladores y baterías vayan debidamente marcados con el símbolo gráfico ilustrado en el anexo II.
2. Los Estados miembros velarán por que, a más tardar el 26 de septiembre de 2009, la capacidad de todas las pilas y acumuladores portátiles y de automoción aparezca indicada en los mismos de manera visible, legible e indeleble. Las normas detalladas para la aplicación del presente requisito, incluidos los métodos armonizados para determinar la capacidad y el uso

adecuado, se establecerán de conformidad con el procedimiento a que se refiere el artículo 24, apartado 2, a más tardar el 26 de marzo de 2009.

3. Las pilas, acumuladores y pilas de botón que contengan más de 0,0005 % de mercurio, más de 0,002 % de cadmio o más de 0,004 % de plomo irán marcados con el símbolo químico del metal correspondiente: Hg, Cd o Pb. El símbolo con la indicación del contenido de metal pesado irá impreso bajo el símbolo gráfico que figura en el anexo II y abarcará un área de al menos una cuarta parte del tamaño de dicho símbolo gráfico.

4. El símbolo gráfico que figura en el anexo II cubrirá el 3 % como mínimo de la superficie del lado más grande de la pila, acumulador o batería, hasta un tamaño máximo de 5 × 5 cm. En el caso de las pilas cilíndricas, el símbolo cubrirá el 1,5 % como mínimo de la superficie de la pila o acumulador y tendrá un tamaño máximo de 5 × 5 cm.

5. Si el tamaño de la pila, acumulador o batería obliga a que el símbolo ocupe menos de 0,5 × 0,5 cm, no será necesario marcar la pila, acumulador o batería en sí, sino que se imprimirá un símbolo de 1 × 1 cm como mínimo en el embalaje.

6. Los símbolos se estamparán de manera visible, legible e indeleble.

7. Podrán concederse exenciones a los requisitos de etiquetado del presente artículo de conformidad con el procedimiento a que se refiere el artículo 24, apartado 2.

*Artículo 22***Informes nacionales de aplicación**

1. Los Estados miembros enviarán a la Comisión con periodicidad trienal un informe de la aplicación de la presente Directiva. No obstante, el primer informe abarcará el período hasta el 26 de septiembre de 2012.

2. Los informes se realizarán sobre la base de un cuestionario o esquema elaborado con arreglo al procedimiento establecido en el artículo 24, apartado 2. El cuestionario o esquema se enviará a los Estados miembros seis meses antes del comienzo del primer período que abarque el informe.

3. Los Estados miembros informarán también de toda medida que adopten para fomentar los desarrollos que afecten al impacto medioambiental de las pilas y acumuladores, en concreto:

- a) las innovaciones, incluidas las medidas voluntarias aplicadas por los productores, que reduzcan las cantidades de metales pesados y otras sustancias peligrosas contenidas en pilas y acumuladores;
- b) las nuevas técnicas de reciclado y tratamiento;
- c) la participación de los operadores económicos en los planes de gestión medioambiental;

d) la investigación en estos ámbitos, y

Artículo 25

e) las medidas adoptadas para fomentar la prevención de residuos.

Sanciones

4. El informe será remitido a la Comisión en el plazo de 9 meses después del final del trienio de que se trate o en el caso del primer informe, a más tardar el 26 de junio de 2013.

Los Estados miembros establecerán normas sobre sanciones aplicables a la infracción de las disposiciones nacionales adoptadas con arreglo a la presente Directiva y adoptarán todas las medidas necesarias para asegurar su aplicación. Las sanciones previstas deberán ser eficaces, proporcionadas y disuasorias. Los Estados miembros notificarán dichas disposiciones a la Comisión a más tardar el 26 de septiembre de 2008 y le informarán sin demora de cualquier modificación posterior que les afecte.

5. La Comisión publicará un informe sobre la aplicación de la presente Directiva y su impacto en el medio ambiente, así como sobre el funcionamiento del mercado interior, a más tardar nueve meses después de la recepción de los informes de los Estados miembros conforme a lo dispuesto en el apartado 4.

Artículo 26

Artículo 23

Revisión

Incorporación al Derecho interno

1. La Comisión examinará la aplicación de la presente Directiva, así como su impacto en el medio ambiente y en el funcionamiento del mercado interior una vez recibidos los informes de los Estados miembros por segunda vez conforme a lo dispuesto en el artículo 22, apartado 4.

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva a más tardar el 26 de septiembre de 2008.

2. El segundo informe que publique la Comisión de conformidad con el artículo 22, apartado 5, incluirá una evaluación de los siguientes aspectos de la presente Directiva:

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, estas incluirán una referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades de la mencionada referencia.

a) la pertinencia de adoptar nuevas medidas de gestión del riesgo de pilas y acumuladores que contengan metales pesados;

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión todas las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

b) la pertinencia de los objetivos mínimos de recogida de todos los residuos de pilas y acumuladores portátiles, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10, apartado 2, y la posibilidad de introducir nuevos objetivos para años ulteriores, teniendo en cuenta el progreso técnico y la experiencia práctica obtenidos en los Estados miembros;

Artículo 27

Acuerdos voluntarios

c) la pertinencia de los requisitos mínimos de reciclado expuestos en el anexo III, parte B, teniendo en cuenta la información que faciliten los Estados miembros, el progreso técnico y la experiencia práctica que hayan obtenido.

1. Siempre que se alcancen los objetivos fijados en la presente Directiva, los Estados miembros podrán incorporar a sus ordenamientos nacionales las disposiciones establecidas en los artículos 8, 15 y 20 utilizando para ello acuerdos entre las autoridades competentes y los sectores económicos interesados. Dichos acuerdos tendrán que reunir los siguientes requisitos:

3. Si procediera, el informe irá acompañado de propuestas de revisión de las disposiciones correspondientes de la presente Directiva.

a) deberán ser ejecutivos;

b) deberán especificar unos objetivos, con sus plazos correspondientes;

Artículo 24

Procedimiento de Comité

1. La Comisión estará asistida por el Comité creado en virtud del artículo 18 de la Directiva 2006/12/CE.

c) serán publicados en el diario oficial nacional o en un documento oficial igualmente accesible al público y se transmitirán a la Comisión.

2. En los casos en que se haga referencia al presente artículo, serán de aplicación los artículos 5 y 7 de la Decisión 1999/468/CE, observando lo dispuesto en su artículo 8.

2. Los resultados obtenidos serán controlados periódicamente, se informará de ellos a las autoridades competentes y a la Comisión y se pondrán a disposición del público en las condiciones recogidas en los acuerdos.

El plazo contemplado en el artículo 5, apartado 6, de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses.

3. Las autoridades competentes se asegurarán de que se examinen los progresos realizados en virtud de los acuerdos.

3. El Comité aprobará su reglamento interno.

4. En caso de incumplimiento de los acuerdos, los Estados miembros aplicarán mediante medidas legislativas, reglamentarias o administrativas las disposiciones pertinentes de la presente Directiva.

*Artículo 28***Derogaciones**

Queda derogada la Directiva 91/157/CEE a partir del 26 de septiembre de 2008.

Las referencias a la Directiva 91/157/CEE se entenderán hechas a la presente Directiva.

*Artículo 29***Entrada en vigor**

La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

*Artículo 30***Destinatarios**

Los destinatarios de la presente Directiva son los Estados miembros.

Hecho en Estrasburgo, el 6 de septiembre de 2006.

Por el Parlamento Europeo

El Presidente

J. BORRELL FONTELLES

Por el Consejo

La Presidenta

P. LEHTOMÄKI

ANEXO I

Seguimiento de la observancia de los objetivos de recogida del artículo 10

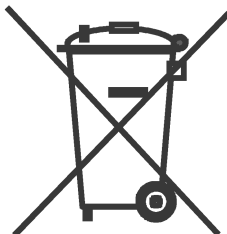
Año	Datos recogidos		Cálculo	Requisito de información
X (*)+1	Ventas en el 1 ^{er} año (S1)			
X+2	Ventas en el 2 ^o año (S2)	—	—	
X+3	Ventas en el 3 ^{er} año (S3)	Recogida en el 3 ^{er} año (C3)	Índice de recogida (CR3) = $3 \cdot C3 / (S1 + S2 + S3)$	
X+4	Ventas en el 4 ^o año (S4)	Recogida en el 4 ^o año (C4)	Índice de recogida (CR4) = $3 \cdot C4 / (S2 + S3 + S4)$ (Objetivo fijado en el 25 %)	
X+5	Ventas en el 5 ^o año (S5)	Recogida en el 5 ^o año (C5)	Índice de recogida (CR5) = $3 \cdot C5 / (S3 + S4 + S5)$	CR4
X+6	Ventas en el 6 ^o año (S6)	Recogida en el 6 ^o año (C6)	Índice de recogida (CR6) = $3 \cdot C6 / (S4 + S5 + S6)$	CR5
X+7	Ventas en el 7 ^o año (S7)	Recogida en el 7 ^o año (C7)	Índice de recogida (CR7) = $3 \cdot C7 / (S5 + S6 + S7)$	CR6
X+8	Ventas en el 8 ^o año (S8)	Recogida en el 8 ^o año (C8)	Índice de recogida (CR8) = $3 \cdot C8 / (S6 + S7 + S8)$ (Objetivo fijado en el 45 %)	CR7
X+9	Ventas en el 9 ^o año (S9)	Recogida en el 9 ^o año (C9)	Índice de recogida (CR9) = $3 \cdot C9 / (S7 + S8 + S9)$	CR8
X+10	Ventas en el 10 ^o año (S10)	Recogida en el 10 ^o año (C10)	Índice de recogida (CR10) = $3 \cdot C10 / (S8 + S9 + S10)$	CR9
X+11	etc.	etc.	etc.	CR10
etc.				

(*) El año X es aquel en el que se incluye la fecha mencionada en el artículo 26.

ANEXO II

Símbolos gráficos para las pilas, acumuladores y baterías en la recogida selectiva

El símbolo que indica la «recogida selectiva» de todas las pilas y acumuladores es el contenedor de basura tachado, tal como aparece representado a continuación:



—

ANEXO III

Especificaciones de los requisitos de tratamiento y reciclado

PARTE A: TRATAMIENTO

1. El tratamiento comprenderá, como mínimo, la extracción de todos los fluidos y ácidos.
2. El tratamiento y cualquier almacenamiento, incluido el almacenamiento provisional, en instalaciones de tratamiento tendrá lugar en lugares impermeabilizados y convenientemente cubiertos o en contenedores adecuados.

PARTE B: RECICLADO

3. Los procesos de reciclado deberán alcanzar los siguientes niveles de eficiencia mínimos en materia de reciclado:
 - a) el reciclado del 65 % en peso, como promedio, de pilas y acumuladores de plomo-ácido, incluido el reciclado del contenido de plomo en el mayor grado técnicamente posible sin que ello entrañe costes excesivos;
 - b) el reciclado del 75 % en peso, como promedio, de las pilas y acumuladores de níquel-cadmio, incluido el reciclado del contenido de cadmio en el mayor grado técnicamente posible sin que ello entrañe costes excesivos, y
 - c) el reciclado del 50 % en peso, como promedio, de los demás residuos de pilas y acumuladores.
-

Anexo E. Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, con las modificaciones previstas por la Directiva 2008/33/CE

<p align="center">Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil DOCE 269/L, de 21-10-00</p>

EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, el apartado 1 de su artículo 175,

Vista la propuesta de la Comisión(1),

Visto el dictamen del Comité Económico y Social(2),

Previa consulta al Comité de las Regiones,

De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 251 del Tratado, a la vista del texto conjunto aprobado por el Comité de conciliación el 23 de mayo de 2000(3),

Considerando lo siguiente:

(1) Conviene armonizar las distintas medidas nacionales relativas a los vehículos al final de su vida útil con el fin de reducir al mínimo, por una parte, las repercusiones sobre el medio ambiente debidas a los vehículos al final de su vida útil, contribuyendo así a la protección, conservación y mejora de la calidad ambiental y a la conservación energética, y, por otra, garantizar el buen funcionamiento del mercado interior y evitar distorsiones de la competencia en la Comunidad.

(2) Es necesario un marco de ámbito comunitario que garantice la coherencia de los enfoques nacionales para conseguir los fines arriba indicados, especialmente en lo que respecta al diseño de los vehículos con vistas a su reciclado y valorización, a los requisitos de las instalaciones de tratamiento y recogida y al logro de los objetivos de reutilización, reciclado y valorización, teniendo en cuenta el principio de subsidiariedad y el de "quien contamina, paga".

(3) Todos los años, los vehículos al final de su vida útil producen en la Comunidad de ocho a nueve millones de toneladas de residuos, que deben ser gestionados correctamente.

(4) Para aplicar los principios de cautela y acción preventiva, y de conformidad con la política comunitaria sobre gestión de residuos, debe evitarse en la medida de lo posible la generación de residuos.

(5) Otro principio fundamental exige que los residuos se reutilicen y valoricen y que se conceda prioridad a la reutilización y al reciclado.

(6) Los Estados miembros deben arbitrar medidas para que los operadores económicos establezcan sistemas de recogida, tratamiento y valorización de vehículos al final de su vida útil.

(7) Los Estados miembros deben velar por que el último usuario y/o propietario pueda entregar el vehículo al final de su vida útil a una instalación autorizada de tratamiento sin coste para él por carecer el vehículo de valor de mercado o por tenerlo negativo. Los Estados miembros deben garantizar que los productores correrán con la totalidad o con una parte significativa de los costes inherentes a la aplicación de esta medida. No debe impedirse el normal funcionamiento de las fuerzas del mercado.

(8) La presente Directiva debe aplicarse tanto a los vehículos al final de su vida útil como a los demás, incluidos sus componentes y materiales, así como las piezas de recambio y los accesorios, sin perjuicio de las normas sobre seguridad, emisiones a la atmósfera y limitación de ruidos.

(9) Para comprender la presente Directiva debe tenerse en cuenta que ha incorporado, allí donde procede, la terminología utilizada en otras Directivas vigentes, en concreto, la Directiva 67/548/CEE del Consejo, de 27 de junio de 1967, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas(4), la Directiva 70/156/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970, relativa a la aproximación de las

legislaciones de los Estados miembros sobre la homologación de vehículos a motor y de sus remolques(5), y la Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos(6).

(10) Los vehículos de época, es decir, los vehículos históricos o los vehículos con valor de colección o destinados a museos, conservados de forma adecuada y respetuosa para el medio ambiente, bien en estado de funcionamiento, bien desmontados en piezas, no están comprendidos en la definición de residuo en el sentido de la Directiva 75/442/CEE, por lo que no están contemplados por la presente Directiva.

(11) Es importante que se apliquen medidas preventivas desde la fase de concepción del vehículo en adelante, que consistan, en particular en la disminución y la limitación de las sustancias peligrosas en los vehículos para prevenir su emisión al medio ambiente, facilitar el reciclado y evitar la eliminación de residuos peligrosos. En particular, debe prohibirse el uso de plomo, mercurio, cadmio y cromo hexavalente. Dichos metales pesados sólo deben usarse para determinadas aplicaciones según una lista que se revisará periódicamente. Ello contribuirá a evitar que determinados materiales y componentes pasen a ser residuos de la fragmentación o que se incineren o depositen en vertederos.

(12) El reciclado de todos los plásticos de los vehículos al final de su vida útil debe mejorar continuamente. La Comisión estudia en la actualidad los efectos del PVC sobre el medio ambiente y, basándose en ese estudio, formulará las propuestas oportunas en relación al uso del PVC, en las que incluirá consideraciones sobre los vehículos.

(13) Conviene incorporar los requisitos de desmontaje, reutilización y reciclado de los vehículos al final de su vida útil y de sus componentes en el diseño y producción de los nuevos vehículos.

(14) Conviene fomentar el desarrollo de mercados de materiales reciclados.

(15) Deben establecerse sistemas de recogida adecuados para garantizar que los vehículos al final de su vida útil serán eliminados sin poner en peligro el medio ambiente.

(16) Debe establecerse un certificado de destrucción, que se utilizará como condición para dar de baja del registro de matriculación a los vehículos al final de su vida útil. Los Estados miembros que no tienen sistema de baja del registro deben establecer un sistema por el cual se notifique a la autoridad competente el certificado de destrucción cuando se entregue un vehículo al final de su vida útil a una instalación de tratamiento.

(17) La presente Directiva no impide que los Estados miembros concedan, si ha lugar, bajas temporales de vehículos.

(18) El funcionamiento de las empresas de recogida y tratamiento debe autorizarse únicamente cuando éstas hayan recibido el permiso correspondiente o, si en lugar de permiso se lleva un registro, cuando se hayan satisfecho ciertas condiciones específicas.

(19) Debe fomentarse la capacidad de reciclaje y valorización de los vehículos.

(20) Es importante establecer requisitos para las operaciones de almacenamiento y tratamiento a fin de prevenir los efectos negativos de las mismas sobre el medio ambiente y evitar que se produzcan distorsiones del mercado y de la competencia.

(21) Para conseguir resultados a corto plazo y proporcionar a las empresas, a los consumidores y a las administraciones públicas la necesaria perspectiva a largo plazo, deben establecerse objetivos cuantificados sobre los índices de reutilización, reciclado y valorización que deben cumplir los agentes económicos.

(22) Los productores deben velar por que el diseño y fabricación de los vehículos permitan la consecución de los objetivos cuantificados de reutilización, reciclado y valorización. Para ello la Comisión fomentará la elaboración de normas europeas y adoptará las medidas necesarias para modificar la normativa europea pertinente sobre homologación de vehículos.

(23) Los Estados miembros deben velar por que, al aplicar las disposiciones de la presente Directiva, se salvaguarde la competencia, en particular en cuanto al acceso de las pequeñas y medianas empresas al mercado de recogida, desmontaje, tratamiento y reciclado.

(24) Con objeto de facilitar el desmontaje y la valorización, y en particular el reciclado de los vehículos al final de su vida útil, los fabricantes de vehículos deben proporcionar a las instalaciones de tratamiento autorizadas toda la información necesaria para el desmontaje, en particular de las materias peligrosas.

(25) Debe promoverse, siempre que sea necesario, la elaboración de normas europeas. Los productores de vehículos y de materiales deben utilizar normas para la codificación de componentes y materiales que deberá establecer la Comisión asistida por el Comité competente. En la elaboración de dichas normas, la Comisión debe tomar en consideración, en su caso, el trabajo que están realizando en este terreno los organismos internacionales competentes.

(26) Para controlar la aplicación de los objetivos de la presente Directiva es necesario disponer de información sobre los vehículos al final de su vida útil en toda la Comunidad.

(27) Los consumidores deben estar debidamente informados para poder adaptar su comportamiento y actitud. A tal fin, corresponde a los agentes económicos proporcionar información.

(28) Los Estados miembros pueden decidir la aplicación de ciertas disposiciones mediante acuerdos con el sector económico interesado, siempre que se cumplan determinados requisitos.

(29) La Comisión debe garantizar, con arreglo al correspondiente procedimiento de comité, la adaptación al progreso científico y técnico de los requisitos aplicables a las instalaciones de tratamiento y al uso de sustancias peligrosas, así como la adopción de normas mínimas para el certificado de destrucción, los formatos de la base de datos y la aplicación de las medidas necesarias para vigilar el cumplimiento de los objetivos cuantificados.

(30) Las medidas necesarias para la ejecución de la presente Directiva serán aprobadas con arreglo a la Decisión 1999/468/CE del Consejo, de 28 de junio de 1999, por la que se establecen los procedimientos para el ejercicio de las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión(7).

(31) Los Estados miembros podrán aplicar las disposiciones de la presente Directiva con antelación a la fecha establecida en la misma siempre y cuando tales medidas sean compatibles con el Tratado.

HAN ADOPTADO LA PRESENTE DIRECTIVA:

1. Objetivos

La presente Directiva establece medidas destinadas, con carácter prioritario, a la prevención de los residuos procedentes de vehículos y, adicionalmente, a la reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil y sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la eficacia en la protección medioambiental de todos los agentes económicos que intervengan en el ciclo de vida de los vehículos y, más concretamente, de aquellos que intervengan directamente en el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil.

2. Definiciones

A los efectos de la presente Directiva, se entenderá por:

1) "vehículo": todo vehículo clasificado en las categorías M1 o N1 definidas en la parte A del anexo II de la Directiva 70/156/CEE, así como los vehículos de motor de tres ruedas, según la definición recogida en la Directiva 92/61/CEE, pero con exclusión de los triciclos de motor;

2) "vehículo al final de su vida útil": todo vehículo que constituye un residuo según el sentido de la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE;

3) "productor": el fabricante o el importador profesional de un vehículo en un Estado miembro;

4) "prevención": las medidas destinadas a reducir la cantidad y la peligrosidad para el medio ambiente de los vehículos al final de su vida útil, sus materiales y sustancias;

- 5) "tratamiento": toda actividad posterior a la entrega del vehículo al final de su vida útil a una instalación de descontaminación, desmontaje, cizallamiento, fragmentación, valorización o preparación para la eliminación de los residuos de la fragmentación, así como cualquier otra operación efectuada para la valorización y/o eliminación del vehículo y sus componentes;
- 6) "reutilización": toda operación por la que los componentes de los vehículos al final de su vida útil se utilizan para el mismo fin para el que fueron concebidos;
- 7) "reciclado": el reprocesamiento, dentro de un proceso de fabricación, de los materiales de desecho con objeto de utilizarlos para los mismos fines a los que se destinaban originalmente o para otros fines a excepción de la valorización energética. Por "valorización energética" se entenderá el uso de residuos combustibles para generar energía mediante incineración directa con o sin otros residuos, pero con valorización del calor;
- 8) "valorización": toda operación aplicable enumerada en la parte B del anexo II de la Directiva 75/442/CEE;
- 9) "eliminación": toda operación aplicable enumerada en la parte A del anexo II de la Directiva 75/442/CEE;
- 10) "operadores económicos": los productores, distribuidores, entidades aseguradoras de vehículos de motor, empresas de recogida, desmontaje, fragmentación, valorización, reciclaje y las demás empresas de tratamiento de vehículos al final de su vida útil o de sus componentes y materiales;
- 11) "sustancia peligrosa": toda sustancia considerada peligrosa según la Directiva 67/548/CEE;
- 12) "fragmentador": el dispositivo utilizado para el troceado o fragmentación de los vehículos al final de su vida útil, y para obtener chatarra directamente reutilizable;
- 13) "información para el desmontaje": toda información necesaria para el tratamiento, adecuado y respetuoso con el medio ambiente, de un vehículo al final de su vida útil. Dicha información será proporcionada a las instalaciones de tratamiento con autorización oficial por los productores de vehículos y de componentes, en forma de manuales o por medios electrónicos (por ejemplo, CD-Rom o servicios en red electrónica).

3. Ámbito de aplicación

1. La presente Directiva se aplicará a los vehículos en general y a los vehículos al final de su vida útil, así como a sus componentes y materiales, sin perjuicio del tercer párrafo del apartado 4 del artículo 5 e independientemente de si, durante su vida útil, el vehículo ha sido mantenido o reparado o si está equipado con componentes suministrados por el productor o con otros cuya instalación como piezas de recambio o accesorios son conformes a las disposiciones comunitarias y nacionales aplicables.
2. La presente Directiva se aplicará sin perjuicio de la legislación comunitaria en vigor o de la legislación nacional correspondiente, en particular la relativa a normas de seguridad, emisiones a la atmósfera, limitación de ruidos y protección del suelo y el agua.
3. En el caso de los productores que sólo fabriquen o importen vehículos que estén exentos de la Directiva 70/156/CEE, en virtud de la letra a) del apartado 2 del artículo 8 de dicha Directiva, los Estados miembros podrán eximir a los citados productores y a sus vehículos de las disposiciones del apartado 4 del artículo 7 y de los artículos 8 y 9 de la presente Directiva.
4. Los vehículos para usos especiales, definidos en el segundo guión de la letra a) del apartado 1 del artículo 4 de la Directiva 70/156/CEE, estarán excluidos de las disposiciones del artículo 7 de la presente Directiva.
5. En el caso de los vehículos de tres ruedas sólo se aplicarán los apartados 1 y 2 del artículo 5 y el artículo 6 de la presente Directiva.

4. Prevención

1. A fin de fomentar la prevención de residuos, los Estados miembros propiciarán, en especial, que:

a) los fabricantes de vehículos, en colaboración con los fabricantes de materiales y equipamientos, limiten la utilización de sustancias peligrosas en los vehículos y las reduzcan en la medida de lo posible desde la fase de concepción del vehículo en adelante, especialmente para prevenir su emisión al medio ambiente, facilitar su reciclado y evitar la necesidad de eliminar residuos peligrosos;

b) en el diseño y la producción de vehículos nuevos se tenga plenamente en cuenta y se facilite el desmontaje, la reutilización y la valorización, especialmente el reciclado, de los vehículos al final de su vida útil, así como de sus componentes y materiales;

c) los fabricantes de vehículos, en colaboración con los fabricantes de materiales y equipamientos, integren una proporción cada vez mayor de materiales reciclados en los vehículos y en otros productos, con el fin de desarrollar el mercado de materiales reciclados.

2. a) Los Estados miembros velarán por que los materiales y componentes de los vehículos que salgan al mercado después del 1 de julio de 2003 no contengan plomo, mercurio, cadmio ni cromo hexavalente excepto en los casos que se enumeran en la lista del anexo II con arreglo a las condiciones que se especifican en el mismo.

b) De conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 11, la Comisión, de forma periódica, modificará el anexo II, con arreglo al progreso científico y técnico, con objeto de:

i) si ha lugar, fijar los valores de concentración máximos de las sustancias citadas en la letra a) que pueden ser tolerados en materiales y componentes específicos de los vehículos,

ii) excluir determinados materiales y componentes de vehículos del cumplimiento de lo dispuesto en la letra a) cuando el uso de las citadas sustancias sea inevitable,

iii) suprimir materiales y componentes de vehículos del anexo II si se puede evitar el uso de las sustancias en cuestión,

iv) designar, en relación con los incisos i) y ii), aquellos materiales y componentes de vehículos que podrán ser retirados antes de ser sometidos a otro tratamiento; deberán ir etiquetados o ser identificables por otros medios adecuados.

c) La Comisión modificará por primera vez el anexo II no después del 21 de octubre de 2001. En ningún caso se suprimirá exención alguna de las enumeradas en el anexo antes del 1 de enero de 2003.

5. Recogida

1. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para:

- garantizar que los operadores económicos establezcan sistemas de recogida de todos los vehículos al final de su vida útil y, en la medida en que resulte técnicamente viable, de las piezas usadas que constituyan residuos, retiradas con ocasión de las reparaciones de turismos,

- garantizar la debida disponibilidad de instalaciones de recogida dentro de su territorio.

2. Los Estados miembros adoptarán asimismo las medidas necesarias para garantizar que todos los vehículos al final de su vida útil se transfieran a instalaciones de tratamiento autorizadas.

3. Los Estados miembros establecerán un sistema por el cual sea necesario presentar un certificado de destrucción para dar de baja del registro de matriculación al vehículo al final de su vida útil. El usuario y/o propietario recibirá dicho certificado cuando el vehículo al final de su vida útil se transfiera a una instalación de tratamiento. Podrán expedir certificados de destrucción las instalaciones de tratamiento que dispongan de la autorización prevista en el artículo 6. Los Estados miembros podrán facultar a los

productores, concesionarios y recogedores que actúen en nombre de una instalación de tratamiento autorizada para que expidan certificados de destrucción, siempre que garanticen que el vehículo al final de su vida útil es transferido a una instalación de tratamiento autorizada, y siempre que estén registradas ante las administraciones públicas.

El hecho de expedir certificados de destrucción no autorizará, a las instalaciones de tratamiento ni a los concesionarios o empresas de recogida que actúen en nombre de una instalación de tratamiento autorizada, a exigir ningún reembolso excepto en casos en que así lo hayan dispuesto explícitamente los Estados miembros.

Los Estados miembros que no tengan un sistema para dar de baja del registro al vehículo en el momento de la entrada en vigor de la presente Directiva establecerán un sistema en virtud del cual se comunicará a la autoridad competente mediante un certificado de destrucción cuando se transfiera el vehículo al final de su vida útil a una instalación de tratamiento y, en lo restante, se ajustarán al presente apartado. Los Estados miembros que se acojan a la presente disposición informarán a la Comisión de sus motivos para hacerlo.

4. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que la entrega del vehículo a una instalación autorizada de tratamiento con arreglo al apartado 3 se produzca sin coste alguno para el último usuario y/o propietario por carecer el vehículo de valor de mercado o tener un valor de mercado negativo.

Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que los productores corran con la totalidad o con una parte significativa de los costes de aplicación de esta medida y/o vuelvan a hacerse cargo de los vehículos al final de su vida útil en idénticas condiciones que las referidas en el párrafo primero.

Los Estados miembros podrán prever que la entrega de vehículos al final de su vida útil no esté totalmente libre de gastos cuando dichos vehículos no contengan los componentes esenciales de un vehículo, en particular el motor y la carrocería, o contengan residuos que hayan sido añadidos a los mismos.

La Comisión controlará de forma periódica la aplicación del párrafo primero para garantizar que no dé lugar a distorsiones del mercado y, si fuera necesario, propondrá al Parlamento Europeo y el Consejo la oportuna modificación.

5. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que las autoridades competentes reconozcan y acepten recíprocamente los certificados de destrucción expedidos por los demás Estados miembros con arreglo al apartado 3. Para ello, la Comisión establecerá, a más tardar el 21 de octubre de 2001, los requisitos mínimos del certificado de destrucción.

6. Tratamiento

1. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que todos los vehículos al final de su vida útil sean almacenados (incluso temporalmente) y tratados con arreglo a los requisitos generales establecidos en el artículo 4 de la Directiva 75/442/CEE y de conformidad con los requisitos técnicos mínimos enunciados en el anexo I de la presente Directiva, sin perjuicio de lo dispuesto en la normativa nacional relativa a la salud y al medio ambiente.

2. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que todo establecimiento o empresa que lleve a cabo operaciones de tratamiento obtenga la autorización o esté registrado ante las autoridades competentes, de conformidad con los artículos 9, 10 y 11 de la Directiva 75/442/CEE.

La dispensa de la exigencia de autorización a que se refiere la letra b) del apartado 1 del artículo 11 de dicha Directiva podrá aplicarse a operaciones de valorización de los residuos de vehículos al final de su vida útil una vez que hayan sido tratados con arreglo al apartado 3 del anexo I de la presente Directiva, siempre que, con anterioridad al registro de un vehículo, las autoridades competentes procedan a inspeccionarlo. En dicha inspección se verificará:

- a) el tipo y la cantidad de residuos que han de tratarse;

b) los requisitos técnicos generales que hay que cumplir;

c) las precauciones de seguridad que deben tomarse, para alcanzar los objetivos a que se refiere el artículo 4 de la Directiva 75/442/CEE. Dicha inspección se realizará una vez al año. Los Estados miembros que se acojan a la dispensa remitirán a la Comisión los resultados de la inspección.

3. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que todo establecimiento o empresa que lleve a cabo operaciones de tratamiento cumpla, como mínimo, los requisitos siguientes, de conformidad con el anexo I:

a) a los vehículos al final de su vida útil se les retirarán sus componentes y materiales o se adoptarán medidas equivalentes, antes de someterlos a cualquier otro tratamiento, con el fin de reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente. Los componentes o materiales etiquetados o identificados de otro modo, según el apartado 2 del artículo 4, serán retirados antes de proceder a su tratamiento;

b) los materiales y componentes peligrosos se retirarán y separarán de manera selectiva con el fin de no contaminar los residuos de la fragmentación de los vehículos al final de su vida útil;

c) las operaciones de retirada de componentes y materiales y el almacenamiento se efectuarán de tal forma que se garantice la aptitud de los componentes del vehículo para que puedan ser reutilizados y valorizados y, en particular, para que puedan ser reciclados. Las operaciones de tratamiento para la descontaminación de los vehículos al final de su vida útil a que se refiere el punto 3 del anexo I se llevarán a cabo cuanto antes.

4. Los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que la autorización o el registro a que se refiere el apartado 2 incorpora todas las condiciones necesarias para cumplir los requisitos de los apartados 1, 2 y 3.

5. Los Estados miembros fomentarán que los establecimientos o empresas que lleven a cabo operaciones de tratamiento establezcan sistemas certificados de gestión del medio ambiente.

7. Reutilización y valorización

1. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para fomentar la reutilización de los componentes reutilizables y la valorización de los componentes que no sean reutilizables, así como para que se conceda prioridad al reciclado cuando ello sea viable desde el punto de vista medioambiental, sin perjuicio de las exigencias de seguridad de los vehículos, así como de las exigencias en materia de medio ambiente, tales como las relativas a las emisiones a la atmósfera y la limitación de ruidos.

2. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que los operadores económicos cumplan los objetivos siguientes:

a) a más tardar el 1 de enero de 2006, con respecto a todos los vehículos al final de su vida útil, se aumentará la reutilización y valorización hasta un mínimo del 85 % del peso medio por vehículo y año. Dentro del mismo plazo se aumentará la reutilización y reciclado hasta un mínimo del 80 % del peso medio por vehículo y año.

Con respecto a los vehículos producidos antes del 1 de enero de 1980, los Estados miembros podrán establecer objetivos más bajos, pero no inferiores al 75 % para la reutilización y la valorización y no inferiores al 70 % para la reutilización y el reciclado. Los Estados miembros que se acojan a la presente disposición informarán a la Comisión y a los demás Estados miembros de sus motivos para hacerlo;

b) a más tardar el 1 de enero de 2015, con respecto a todos los vehículos al final de su vida útil, se aumentará la reutilización y la valorización hasta un mínimo del 95 % del peso medio por vehículo y año. En este mismo plazo, se aumentará la reutilización y reciclado hasta un mínimo del 85 % del peso medio por vehículo y año.

A más tardar el 31 de diciembre de 2005, el Parlamento Europeo y el Consejo reexaminarán los objetivos a que se refiere la letra b), basándose en un informe de la Comisión que irá acompañado de una propuesta. En dicho informe, la Comisión tendrá en cuenta la evolución de la composición del material de los vehículos así como cualesquiera otros aspectos pertinentes relativos a los mismos.

De conformidad con el procedimiento previsto en el artículo 11, la Comisión establecerá las normas de desarrollo necesarias para controlar el cumplimiento, por parte de los Estados miembros, de los objetivos fijados en el presente apartado. Al efectuar dicho control, la Comisión tendrá en cuenta todos los factores pertinentes, entre otros, la disponibilidad de datos y el resultado de las exportaciones e importaciones de vehículos al final de su vida útil. La Comisión adoptará esta medida a más tardar el 21 de octubre de 2002.

3. A propuesta de la Comisión, el Parlamento Europeo y el Consejo fijarán objetivos de reutilización y valorización, así como de reutilización y reciclado para los años posteriores a 2015.

4. Con objeto de preparar una modificación de la Directiva 70/156/CEE, la Comisión fomentará la elaboración de normas europeas relativas a la aptitud para el desmontaje, valorización y reciclado de los vehículos. Una vez que las normas se hayan acordado, pero en ningún caso después de finales de 2001, el Parlamento Europeo y el Consejo, basándose en una propuesta de la Comisión, modificarán la Directiva 70/156/CEE de forma que los vehículos homologados con arreglo a dicha Directiva que salgan al mercado después de los tres años siguientes a la modificación de la Directiva 70/156/CEE sean reutilizables y/o reciclables en un mínimo del 85 % del peso de cada vehículo y reutilizables y/o valorizables en un mínimo del 95 % del peso de cada vehículo.

5. Al proponer la modificación de la Directiva 70/156/CEE en lo que se refiere a la aptitud para el desmontaje, la valorización y el reciclado de los vehículos, la Comisión tendrá en cuenta, en su caso, la necesidad de garantizar que la reutilización de componentes no entraña riesgos para la seguridad ni el medio ambiente.

8. Normas de codificación e información de desmontaje

1. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que los productores, juntamente con los fabricantes de materiales y equipamientos, utilicen normas de codificación de componentes y materiales, en especial para facilitar la identificación de aquellos componentes y materiales que sean adecuados para su reutilización o valorización.

2. No más tarde del 21 de octubre de 2001, la Comisión, de conformidad con el procedimiento establecido en el artículo 11, establecerá las normas a que se refiere el apartado 1 del presente artículo. Al establecer dichas normas, la Comisión tendrá en cuenta la labor que está desarrollándose en este ámbito en los foros internacionales pertinentes y, cuando proceda, colaborará en dicha labor.

3. Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que los productores facilitan información de desmontaje para cada nuevo tipo de vehículo que salga al mercado, en el plazo de seis meses a partir de su puesta en el mercado. En la medida en que sea necesario para que las instalaciones de tratamiento puedan cumplir la presente Directiva, dicha información identificará los distintos componentes y materiales de los vehículos y la localización de cualquier sustancia peligrosa en ellos, en particular para lograr los objetivos establecidos en el artículo 7.

4. Sin perjuicio de la confidencialidad comercial e industrial, los Estados miembros tomarán las medidas necesarias para garantizar que los fabricantes de componentes utilizados en los vehículos pongan a disposición de las instalaciones de tratamiento autorizadas, en la medida en que así lo soliciten dichas instalaciones, la información adecuada y necesaria sobre el desmontaje, almacenamiento y examen de los componentes que puedan ser reutilizados.

9. Informes y datos

1. Cada tres años, los Estados miembros remitirán a la Comisión un informe sobre la aplicación de la presente Directiva. El informe se preparará basándose en un cuestionario o esquema elaborado por la Comisión con arreglo al procedimiento establecido en el artículo 6 de la Directiva 91/692/CEE(8), a fin de crear bases de datos sobre los vehículos al final de su vida útil y su tratamiento. El informe contendrá

información pertinente sobre los posibles casos de falseamiento de la competencia ocurridos entre o en los Estados miembros, en particular, por posibles modificaciones de las estructuras en el ámbito de la venta de vehículos de motor y de la industria de recogida, desmontaje, fragmentación, valorización y reciclado. El cuestionario o esquema se enviará a los Estados miembros seis meses antes del comienzo del período que abarque el informe. El informe se remitirá a la Comisión en el plazo de nueve meses a partir del fin del período de tres años que abarque.

El primer informe abarcará un período de tres años desde el 21 de abril de 2002.

Basándose en la información antes mencionada la Comisión publicará un informe sobre la aplicación de la presente Directiva en un plazo de nueve meses a partir de la recepción de los informes de los Estados miembros.

2. Los Estados miembros exigirán a los agentes económicos afectados que publiquen información sobre:

- el diseño de los vehículos y de sus componentes con vistas a su aptitud para la valorización y el reciclado,
- el tratamiento correcto, por lo que respecta al medio ambiente, de los vehículos al final de su vida útil, en particular sobre la forma de retirar todos los líquidos y de desmontaje,
- el desarrollo y optimización de las formas de reutilizar, reciclar y valorizar los vehículos al final de su vida útil y sus componentes,
- los avances logrados en cuanto a la valorización y el reciclado para reducir los residuos que hay que eliminar y en cuanto al aumento de los niveles de valorización y reciclado.

El productor deberá poner esta información a disposición de los posibles compradores de vehículos. Dicha información se recogerá en el material publicitario que se utilice en la comercialización del nuevo vehículo.

10. Aplicación

1. Los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo dispuesto en la presente Directiva a más tardar el 21 de abril de 2002. Informarán inmediatamente de ello a la Comisión.

Cuando los Estados miembros adopten dichas disposiciones, éstas incluirán una referencia a la presente Directiva o irán acompañadas de dicha referencia en su publicación oficial. Los Estados miembros establecerán las modalidades para introducir la mencionada referencia.

2. Los Estados miembros comunicarán a la Comisión el texto de las disposiciones básicas de Derecho interno que adopten en el ámbito regulado por la presente Directiva.

3. Siempre que se consigan los objetivos exigidos por la presente Directiva, los Estados miembros podrán incorporar a sus legislaciones nacionales respectivas las disposiciones establecidas en el apartado 1 del artículo 4, el apartado 1 del artículo 5, el apartado 1 del artículo 7, los apartados 1 y 3 del artículo 8 y el apartado 2 del artículo 9, y podrán precisar las normas de desarrollo del apartado 4 del artículo 5, mediante acuerdos entre las autoridades competentes y los sectores económicos interesados. Dichos acuerdos reunirán los siguientes requisitos:

- a) los acuerdos tendrán fuerza ejecutiva;
- b) los acuerdos deberán especificar objetivos con sus plazos correspondientes;
- c) los acuerdos serán publicados en el diario oficial nacional o en un documento oficial igualmente accesible al público y se transmitirán a la Comisión;
- d) los resultados obtenidos en virtud de un acuerdo serán controlados periódicamente, se informará de ellos a las autoridades competentes y a la Comisión y se pondrán a disposición del público en las condiciones recogidas en el acuerdo;

e) las autoridades competentes adoptarán medidas para que se examinen los progresos realizados en virtud del acuerdo;

f) en caso de incumplimiento del acuerdo, los Estados miembros aplicarán mediante medidas legales, reglamentarias o administrativas las disposiciones pertinentes de la presente Directiva.

11. Comité

1. La Comisión estará asistida por el Comité creado en virtud del artículo 18 de la Directiva 75/442/CEE, denominado en lo sucesivo "el Comité".

2. En los casos en que se haga referencia al presente artículo, serán de aplicación los artículos 5 y 7 de la Decisión 1999/468/CE del Consejo, observando lo dispuesto en su artículo 8.

El plazo mencionado en el apartado 6 del artículo 5 de la Decisión 1999/468/CE queda fijado en tres meses.

3. El Comité adoptará su reglamento interno.

4. La Comisión, con arreglo al procedimiento establecido en el presente artículo, adoptará:

a) los requisitos mínimos del certificado de destrucción a que se refiere el apartado 5 del artículo 5;

b) las normas de desarrollo a que se refiere el último párrafo del apartado 2 del artículo 7;

c) los modelos relativos al sistema de bases de datos previsto en el artículo 9;

d) las modificaciones necesarias para adaptar los anexos de la presente Directiva al progreso científico y técnico.

12. Entrada en vigor

1. La presente Directiva entrará en vigor el día de su publicación en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

2. El apartado 4 del artículo 5 será aplicable:

- a partir del 1 de julio de 2002 para los vehículos que salgan al mercado a partir de esa fecha,

- a partir del 1 de enero de 2007 para los vehículos que salgan al mercado antes de la fecha mencionada en el primer guión.

3. Los Estados miembros podrán aplicar el apartado 4 del artículo 5 con anterioridad a las fechas establecidas en el apartado 2.

13. Destinatarios

Los destinatarios de la presente Directiva serán los Estados miembros.

Hecho en Bruselas, el 18 de septiembre de 2000.

Por el Parlamento Europeo

La Presidenta

N. Fontaine

Por el Consejo

El Presidente

H. Védrine

(1) DOCE 337/C, de 07-11-97 y DOCE 156/C, de 03-06-99

(2) DOCE 129/C, de 27-04-98

(3) Dictamen del Parlamento Europeo de 11 de febrero de 1999 (DOCE 150/C, de 28-05-99), Posición común del Consejo de 29 de julio de 1999 (DOCE 317/C, de 04-11-99) y Decisión del Parlamento Europeo de 3 de febrero de 2000 (no publicada aún en el Diario Oficial). Decisión del Consejo de 20 de julio de 2000 y Decisión del Parlamento Europeo de 7 de septiembre de 2000.

(4) DOCE 196, de 16-08-67; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 98/98/CE de la Comisión (DOCE 355/L, de 30-12-98).

(5) DOCE 42/L, de 23-02-70; Directiva cuya última modificación la constituye la Directiva 98/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DOCE 11/L, de 16-01-99).

(6) DOCE 194/L, de 25-07-75; Directiva cuya última modificación la constituye la Decisión 96/350/CE de la Comisión (DOCE 135/L, de 06-06-96).

(7) DOCE 184/L, de 17-07-99

(8) DOCE 377/L, de 31-12-91

ANEXO I Requisitos técnicos mínimos para el tratamiento con arreglo a los apartados 1 y 3 del artículo 6

1. Almacenes (incluidos los depósitos temporales) para los vehículos al final de su vida útil antes de su tratamiento:

- zonas adecuadas dotadas de superficies impermeables, con instalaciones para la recogida de derrames, decantadores y limpiadores-desengrasadores,
- equipos para el tratamiento de aguas, incluidas las aguas de lluvia, conforme a la reglamentación sanitaria y medioambiental.

2. Lugares de tratamiento:

- zonas adecuadas dotadas de superficies impermeables, con instalaciones para la recogida de derrames, decantadores y limpiadores-desengrasadores,
- almacenamiento adecuado para las piezas de recambio y depósitos impermeables para el almacenamiento de estas piezas que estén contaminadas por aceites,
- contenedores adecuados para el depósito de baterías (con neutralización del electrolito in situ o en otro lugar), filtros y condensadores que contengan policlorobifenilos (PCB) o policloroterfenilos (PCT),
- depósitos adecuados para el almacenamiento por separado de los líquidos de los vehículos al final de su vida útil: combustibles, aceite de motor, aceite de la caja de cambios, aceite de transmisión, aceite hidráulico, líquido refrigerante, anticongelante, líquido de frenos, ácido de baterías, fluido de los aparatos de aire acondicionado y cualquier otro fluido que contengan los vehículos al final de su vida útil,
- equipos para el tratamiento de aguas, incluidas las aguas de lluvia, conforme a la reglamentación sanitaria y medioambiental,
- almacenamiento adecuado para neumáticos usados, que permita la prevención de los riesgos de incendio y de los riesgos derivados de un exceso de almacenamiento.

3. Operaciones de tratamiento para la descontaminación de los vehículos al final de su vida útil:

- retirada de baterías y depósitos de gas licuado,
- retirada o neutralización de componentes potencialmente explosivos (por ejemplo, airbags),
- retirada, así como recogida y almacenamiento por separado, de combustibles, aceite de motor, aceite de transmisión, aceite de la caja de cambios, aceite hidráulico, líquido refrigerante, anticongelante, líquido de frenos, fluido de los aparatos de aire acondicionado y cualquier otro fluido que contengan los vehículos al final de su vida útil a menos que sea necesario para la reutilización de los componentes de que se trate,
- retirada, siempre que sea viable, de todos los componentes en los que se haya determinado un contenido en mercurio.

4. Operaciones de tratamiento para fomentar el reciclado:

- retirada de catalizadores,
- retirada de los elementos metálicos que contengan cobre, aluminio y magnesio, si estos metales no van a ser retirados en el proceso de fragmentación,
- retirada de neumáticos y componentes plásticos de gran tamaño (por ejemplo, parachoques, salpicaderos, depósitos de fluidos, etc.) si estos materiales no van a ser retirados en el proceso de fragmentación de tal modo que puedan reciclarse efectivamente como materiales,
- retirada de vidrio.

5. Las operaciones de almacenamiento se deberán llevar a cabo evitando dañar los componentes que contengan fluidos, o los componentes y piezas de recambio valorizables.

ANEXO II Materiales y componentes exentos de lo dispuesto en la letra a) del apartado 2 del artículo 4

Materiales y Componentes

Se etiquetarán o
Identificarán con arreglo
al inciso iv) de la letra b)
del apartado 2 del
artículo 4

Plomo como elemento de aleación

1. Acero (incluido el revestido de zinc) que contenga hasta un 0,35 % de su peso en plomo
2. Aluminio que contenga hasta un 0,4 % de su peso en plomo
3. Aluminio en llantas, componentes de motor y elevallunas que contengan hasta un 4 % de su peso en plomo
4. Aleación de Cobre que contenga hasta un 4 % de su peso en plomo
5. Cojinetes y pistones de plomo/bronce

Plomo y Compuestos de plomo como metal de componentes

6. Baterías X
7. Revestimiento Interior de los depósitos de combustible X
8. Contrapesos de equilibrado de ruedas o llantas X
9. Agentes de Vulcanización para mangueras de alta presión o de combustible
10. Estabilizadores de pinturas de protección
11. Soldaduras de paneles de circuitos electrónicos y otras aplicaciones

Cromo hexavalente

12. Revestimiento antioxidante de numerosos componentes esenciales del vehículo (máximo de 2 g. por vehículo)

Mercurio

13. Bombillas e indicadores del salpicadero X

En el marco del procedimiento a que se refiere la letra b) del apartado 2 del artículo 4, la Comisión evaluará las siguientes aplicaciones:

- plomo como aleación del aluminio en llantas, piezas del motor y elevallunas,
- plomo en las baterías,
- plomo en contrapesos de equilibrado,
- componentes eléctricos que contengan plomo en piezas matrices de vidrio o de cerámica,
- cadmio en baterías para vehículos eléctricos,

como cuestión prioritaria, con el fin de establecer lo antes posible si el anexo II debe ser modificado en consecuencia. Con respecto al cadmio en las baterías de vehículos eléctricos, la Comisión deberá tener en cuenta, dentro del procedimiento a que se refiere la letra b) del apartado 2 del artículo 4 y en el marco de una evaluación global desde el punto de vista medioambiental, la disponibilidad de materiales de sustitución así como la necesidad de mantener la disponibilidad de vehículos eléctricos

Declaraciones de la Comisión

Ad primer guión del apartado 1 del artículo 5

La Comisión confirma que el primer guión del apartado 1 del artículo 5 permite a los Estados miembros utilizar los sistemas de recogida existentes en relación con las piezas usadas que son residuos y no obliga a los Estados miembros a crear sistemas de recogida distintos con requisitos de financiación especiales (para las piezas usadas que son residuos).

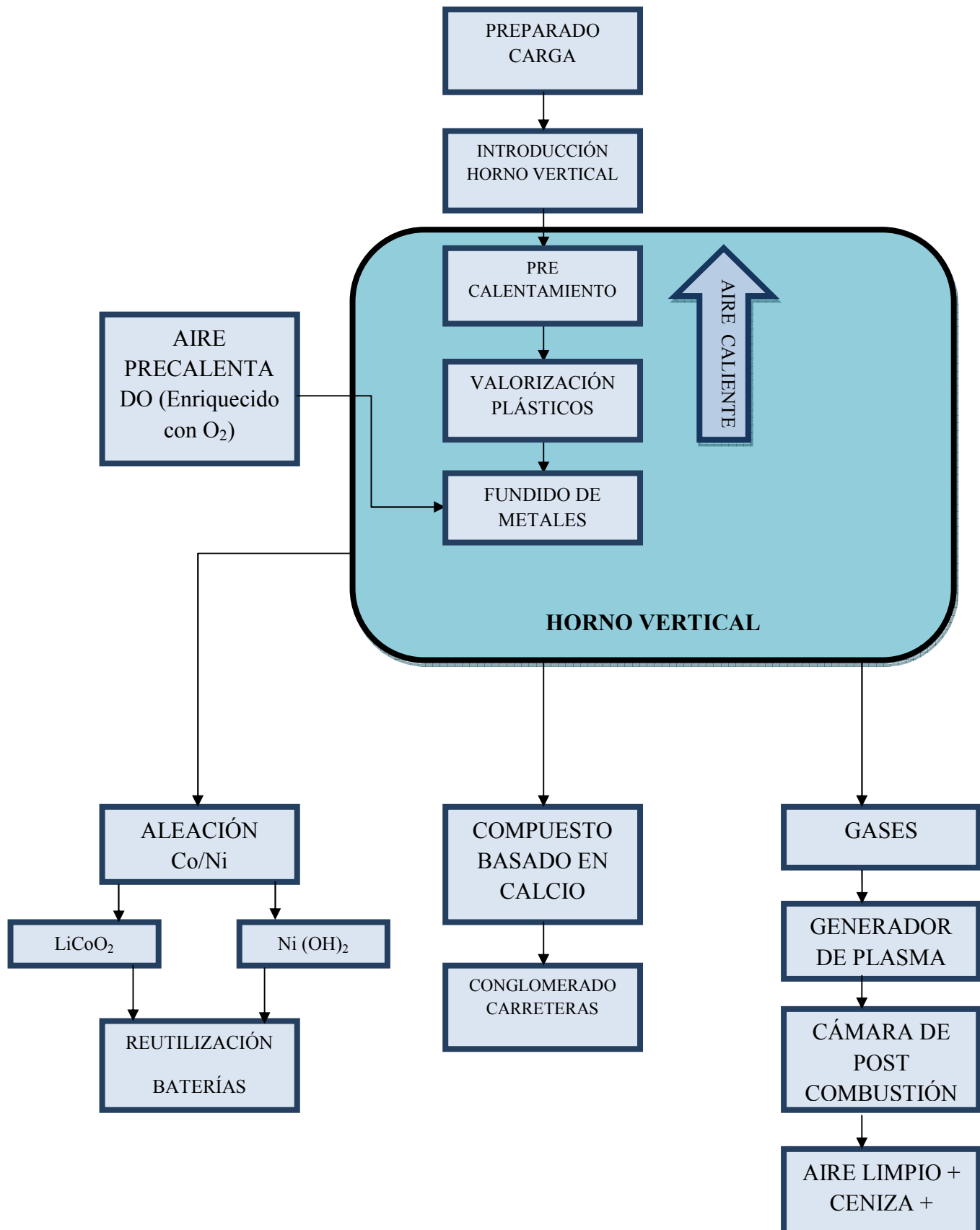
Ad párrafo primero del apartado 3 del artículo 5

La Comisión considera que la referencia al registro que figura en el primer párrafo del apartado 3 del artículo 5 permite a los Estados miembros decidir qué productores, concesionarios y recogedores deben registrarse con arreglo a la Directiva marco sobre residuos o en un nuevo registro creado específicamente para tal fin.

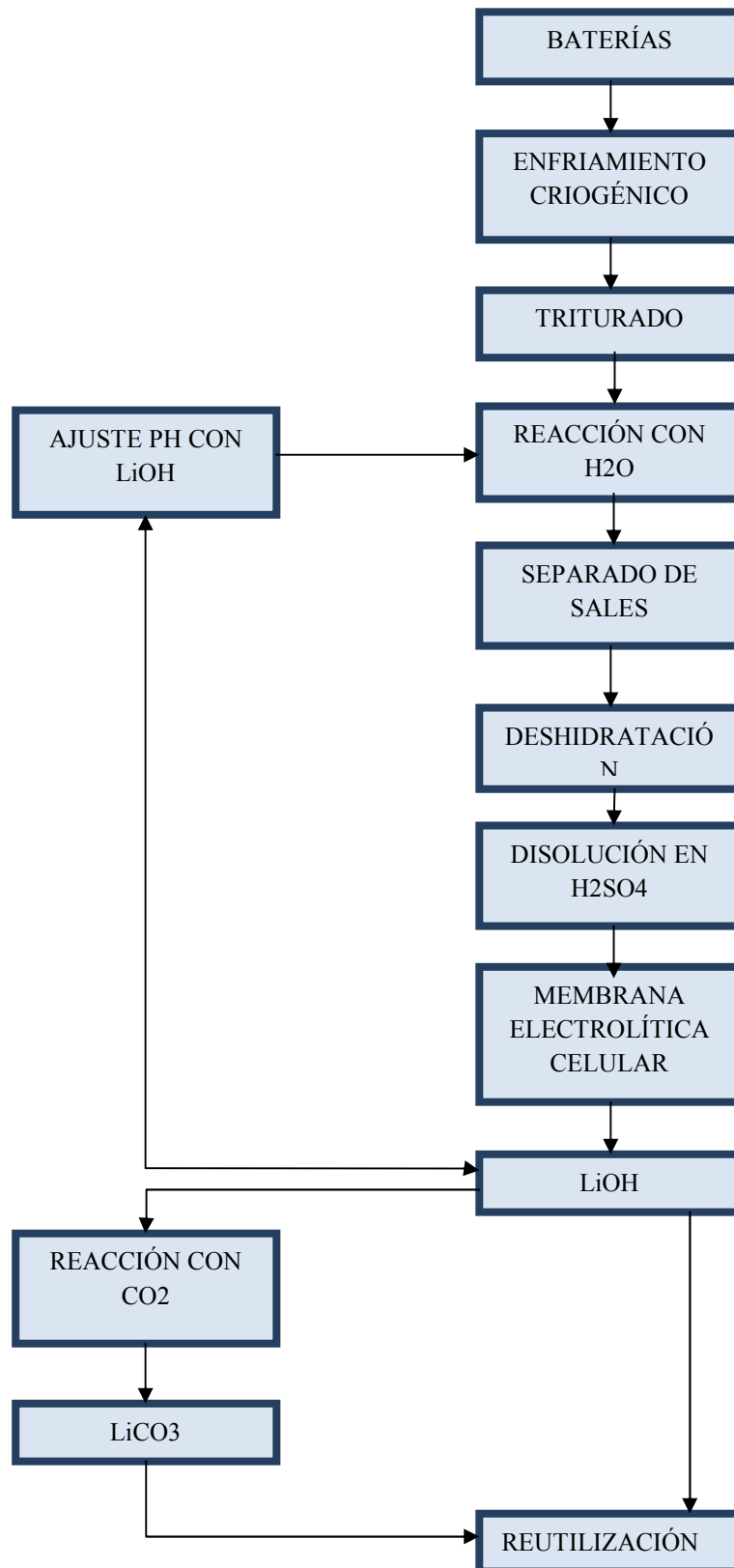
Ad apartado 1 del artículo 7

La Comisión declara que el apartado 1 del artículo 7 no establece requisitos, medidas ni criterios adicionales en relación con las inspecciones técnicas.

Anexo F. Diagrama de Flujo proceso Piro Metalúrgico



Anexo G. Diagrama de Flujo proceso Hidro Metalúrgico



Anexo F. Método AHP

A1	PIRO	ESCALA NUMÉRICA DE SAATY		
A2	HIDRO	Valor	Definición	Comentario
		1	Igual importancia	A y B tienen la misma importancia
B1	EFICIENCIA ENERGÉTICA	3	Importancia moderada	A es ligeramente más importante que B
B2	INVERSIÓN INICIAL	5	Importancia grande	A es más importante que B
B3	COSTES DE OPERACIÓN	7	Importancia muy grande	A es mucho más importante que B
B4	ROBUSTEZ	9	Importancia extrema	A es extremadamente más importante que B

IMPORTANCIA ATRIBUTOS		
B1 ES	1	B2
B1 ES	1	B3
B1 ES	1	B4
B2 ES	1	B3
B2 ES	1	B4
B3 ES	1	B4



IMPORTANCIA ALTERNATIVAS POR ATRIBUTOS		
	B1	
A1 ES	7	A2
	B2	
A1 ES	0,142857143	A2
	B3	
A1 ES	5	A2
	B4	
A1 ES	5	A2



MATRIZ COMPARACIÓN ATRIBUTOS

Atributos	B1	B2	B3	B4	Ponderación p
B1	1	1	1	1	0,25
B2	1	1	1	1	0,25
B3	1	1	1	1	0,25
B4	1	1	1	1	0,25
Suma	4	4	4	4	1



B1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

Alternativas	A1	A2	Ponderaciones
A1	1	7	0,875
A2	0,142857143	1	0,125
Suma	1,142857143	8	1

B2 INVERSIÓN INICIAL

Alternativas	A1	A2	Ponderaciones
A1	1	0,142857143	0,125
A2	7	1	0,875
Suma	8	1,142857143	1

B3 COSTES DE OPERACIÓN

Alternativas	A1	A2	Ponderaciones
A1	1	5	0,833333333
A2	0,2	1	0,166666667
Suma	1,2	6	1

B4 ROBUSTEZ

Alternativas	A1	A2	Ponderaciones
A1	1	5	0,833333333
A2	0,2	1	0,166666667
Suma	1,2	6	1

DETERMINACIÓN PESOS GLOBALES

NIVEL 1 DETERMINACIÓN DEL PROCESO PARA RECICLAJE DE BATERÍAS ÓPTIMO

OBJETIVO

NIVEL 2

CRITERIOS	B1	B2	B3	B4
P	0,25	0,25	0,25	0,25

NIVEL 3				
ALTERNATIVAS				
A1	0,875	0,125	0,833333333	0,833333333

A2	0,125	0,875	0,166666667	0,166666667
----	-------	-------	-------------	-------------



PESOS	VALOR
-------	-------

A1	0,666666667
----	-------------

A2	0,333333333
----	-------------

